

41

Mai 2013 (édition spéciale)

Science connection

Antarctique



© Anton Van de Putte

www.scienceconnection.be
cinq fois l'an : février, avril,
juillet, octobre et décembre
bureau de dépôt :
Bruxelles X / P409661
ISSN 1780-8456



recherche



espace



nature



arts



documentation



belspo .be

Le magazine de la POLITIQUE SCIENTIFIQUE FÉDÉRALE



recherche



espace



nature



arts



documentation

La Politique scientifique fédérale, outre les directions générales “Recherche et Applications aérospatiales” et “Coordination internationale et interfédérale et Indicateurs scientifiques”, regroupe dix Établissements scientifiques et deux Services de l’État à gestion séparée :



Archives générales du Royaume
Archives de l’État dans les provinces
www.arch.be + (32) (0)2 513 76 80



Belnet
www.belnet.be + (32) (0)2 790 33 33



Bibliothèque royale de Belgique
www.kbr.be + (32) (0)2 519 53 11



**Centre d’Études et de Documentation
Guerre et Sociétés contemporaines**
www.cegesoma.be + (32) (0)2 556 92 11



Institut d’Aéronomie spatiale de Belgique
www.aeronomie.be + (32) (0)2 373 04 04



Institut royal des Sciences naturelles de Belgique
Muséum des Sciences naturelles
www.sciencesnaturelles.be + (32) (0)2 627 42 11



Institut royal du Patrimoine artistique
www.kikirpa.be + (32) (0)2 739 67 11



Institut royal météorologique de Belgique
www.meteo.be + (32) (0)2 373 05 08



Musée royal de l’Afrique centrale
www.africamuseum.be + (32) (0)2 769 52 11



Musées royaux d’Art et d’Histoire
www.mrah.be + (32) (0)2 741 72 11



Musées royaux des Beaux-Arts de Belgique
www.fine-arts-museum.be + (32) (0)2 508 32 11

dont le **Musée des instruments de musique (mim)**
www.museedesinstrumentsdemusique.be
les **Musées d’Extrême-Orient**
la **Porte de Hal**

dont le **Musée Magritte**
www.musee-magritte-museum.be
le **Musée Wiertz**
le **Musée Meunier**



Observatoire royal de Belgique
www.observatoire.be + (32) (0)2 373 02 11



Planétarium de l’Observatoire royal de Belgique
www.planetarium.be + (32) (0)2 474 70 50



Service d’information scientifique et technique
www.stis.belspo.be + (32) (0)2 238 37 40

Secrétariat polaire
+ (32) (0)2 238 34 43

Institutions partenaires :



Jardin botanique national de Belgique
www.jardinbotanique.be + (32) (0)2 260 09 20



**Académie royale des Sciences, des Lettres
et des Beaux-Arts de Belgique**
www.academieroyale.be
+ (32) (0)2 550 22 11 / 23 23



Académie royale des Sciences d’Outre-mer
www.kaowarsom.be + (32) (0)2 538 02 11



Institut Von Karman
www.vki.ac.be + (32) (0)2 359 96 11



Fondation universitaire
www.fondationuniversitaire.be + (32) (0)2 545 04 00

Academia Belgica
www.academiabelgica.it + (39) (06) 203 986 31



Cinémathèque royale de Belgique
www.cinematheque.be + (32) (0)2 551 19 00



Fondation Biermans-Lapôte
www.fbl-paris.org + (33) (01) 40 78 72 00

Éditorial

Il a fallu attendre 28 ans pour que la Belgique accueille à nouveau la Réunion des parties au Traité sur l'Antarctique (Antarctic Treaty Consultative Meeting ou ATCM). Du 20 au 29 mai 2013, quelque 350 représentants issus de 50 pays parties au Traité et d'organisations observatrices ou d'experts invités ont débattu au sujet des différents éléments du traité.

Signé à Washington le 1^{er} décembre 1959 par 12 États, dont la Belgique, le Traité sur l'Antarctique est la pierre fondatrice du Système du Traité sur l'Antarctique (STA), qui prévoit la coopération des parties pour la gouvernance de l'immense continent antarctique et de l'Océan Austral qui l'entoure. Aujourd'hui, 38 autres pays ont ratifié le traité et le texte d'origine a été complété par le Protocole de Madrid (1991) qui interdit l'exploitation des richesses minérales et déclare l'ensemble de la zone (7 % de la surface de la Terre) réserve naturelle. Le traité est devenu un modèle de coopération internationale.

C'est la troisième fois que l'ATCM s'est déroulé à Bruxelles. La première fois en juin 1964, la deuxième en octobre 1985. C'est d'ailleurs à l'occasion de cette deuxième rencontre à Bruxelles que la Politique scientifique fédérale a lancé le Programme de recherche sur l'Antarctique, garantissant ainsi le soutien permanent à la recherche belge sur l'Antarctique. Notre service, par le biais du Secrétariat Polaire, est également responsable de la gestion et du fonctionnement de la station Princesse Élisabeth, qui a été mise sur pied en 2009.

Le respect du STA se fait en étroite collaboration avec nos collègues des Affaires étrangères et de l'Environnement. La diplomatie belge a apporté une contribution essentielle à la réussite du Traité. Comptant parmi les 12 pays fondateurs, la Belgique était également l'un des cinq pays à n'avoir pas émis de revendications territoriales, ce qui nous a permis de jouer un rôle important dans la mise en œuvre du Traité. Plus tard, notre pays a également contribué à la réalisation du Protocole de Madrid (1991), fortement axé sur l'environnement. Le service fédéral de l'environnement est chargé de suivre les questions traitées au sein du Comité pour la protection de l'environnement (CPE) et d'attribuer des permis environnementaux aux ressortissants belges en Antarctique.

L'organisation de cette réunion importante en Belgique méritait bien un numéro spécial de *Science Connection*. Ce numéro, qui aborde l'élaboration et l'importance du Traité sur l'Antarctique, donne également un aperçu des activités de recherche belges actuelles en Antarctique.

Bonne lecture !

Dr Philippe Mettens
Président de la Politique scientifique fédérale



La recherche scientifique, fil rouge à travers l'histoire de la présence belge en Antarctique



L'expédition du Belgica (1897-99), emmenée par Adrien de Gerlache, a totalement surpris les observateurs internationaux de l'époque. En effet, la Belgique ne jouissait alors d'aucune tradition maritime ou polaire. Le jeune pays connaissait en revanche une période d'essor scientifique et industriel et il y régnait une ambiance d'expansionnisme. De Gerlache était soutenu et entouré par un milieu progressiste d'universitaires et de chercheurs issus de jeunes instituts scientifiques et universités. Reconnue par la communauté internationale comme la première expédition internationale scientifique, l'expédition du Belgica a, par ailleurs, réalisé le premier hivernage sur la banquise antarctique, ouvrant ainsi la voie à l'exploration de l'Antarctique.

La création de la base Roi Baudouin en Antarctique par Gaston de Gerlache, fils du commandant du Belgica, a eu lieu pendant l'année géophysique internationale (AGI) de 1957-58. Au cours de cette AGI, dont le secrétariat était installé à Bruxelles, 64 pays ont mesuré et calculé les dimensions de la Terre avec les moyens les plus modernes, depuis les profondeurs des océans jusque dans l'espace. Ces efforts ont en fait constitué le premier grand pas en avant dans la compréhension du 'Système Terre'. Les moindres recoins de la Terre ont ainsi été cartographiés, et en particulier l'Antarctique. Douze pays y ont mis en place un réseau de 55 stations scientifiques, dont la base belge Roi Baudouin (1958-1966), et répertorié de manière systématique, pour la première fois, toute la gamme des phénomènes géophysiques comme les aurores, les rayonnements cosmiques, le géomagnétisme, la glaciologie, la pesanteur, la physique ionosphérique, la météorologie, l'océanographie, la sismologie et l'activité solaire.

Cinquante ans après l'AGI, la communauté scientifique internationale a organisé une nouvelle vague d'observations dans les régions polaires à l'occasion de la 4e Année polaire internationale (API) en 2007-2009. Cette fois-ci, l'accent était placé sur la problématique de l'environnement, en particulier les changements climatiques et le rôle joué par la calotte glaciaire et les océans environnants dans ce phénomène. Les études relatives à la diminution de la biodiversité et à la vie microbologique dans des conditions extrêmes ont également fait l'objet d'une attention particulière. Grâce à la construction de la station Princesse Élisabeth par l'International Polar Foundation – à la demande de l'État belge –, la Belgique dispose dorénavant d'une plateforme durable qui est, d'une part, intégrée dans le réseau d'observation pour l'étude des questions environnementales et qui constitue, d'autre part, un modèle de



développement durable, de par l'utilisation qui est y faite des technologies et des sources d'énergie durables.

Ce n'est donc pas un hasard si la recherche scientifique en Antarctique est à l'origine d'un ensemble d'accords internationaux importants qui régissent la cohabitation pacifique, la non-exploitation et la protection de l'environnement dans la zone au sud du 60e parallèle. En effet, la recherche scientifique n'est pas uniquement l'objet de toutes les activités qui se déroulent sur ce continent, elle crée aussi les conditions nécessaires à la cohabitation pacifique et écologique dans cette région, et apporte des réponses aux problématiques soulevées.

Au cours de l'AGI 1957-59, la coordination des observations scientifiques et l'organisation des opérations logistiques et de l'assistance mutuelle dans ce milieu hostile à l'humain ont donné lieu à un accord international unique, le 'Traité sur l'Antarctique' (Antarctic Treaty, AT). Ce traité a ainsi permis d'écarter les revendications territoriales historiques dans l'Antarctique qui se chevauchent souvent, d'une part en gelant les revendications existantes et, d'autre part, en excluant toute nouvelle revendication. En incluant une interdiction de toute activité à caractère militaire on est parvenu, grâce à un système d'inspection mutuelle et d'échange d'observateurs, à faire de l'Antarctique un continent consacré 'à la paix et à la science', et ce, il convient de le rappeler, au plus fort de la Guerre froide. La science a donc donné naissance à un accord de coopération unique.



Dans les années qui ont suivi l'AGI, la recherche géologique a mis au jour d'importants sites potentiels de minerais et de minéraux et a ainsi ouvert la porte à une future exploitation minière de l'Antarctique. Il va de soi que cette exploitation n'était guère conciliable avec la renonciation aux revendications territoriales. Des négociations laborieuses ont donc mené en 1991 au Protocole de Madrid qui a été annexé au Traité sur l'Antarctique. Ce protocole interdit toute activité relative aux ressources minérales autre que celles menées à des fins scientifiques. Par ailleurs, les parties sont tenues de protéger l'environnement antarctique comme une réserve naturelle. Pour garantir cette obligation, le protocole exige que toute activité humaine fasse l'objet d'une évaluation d'incidence environnementale. Le fonctionnement et le respect de ce protocole sont discutés lors de la réunion du Comité pour la protection de l'environnement (CPE), qui fait partie intégrante de la réunion annuelle du Traité sur l'Antarctique (Antarctic Treaty Consultative Meeting-ATCM). Le fait de désigner un continent entier et l'océan qui l'entoure (représentant ensemble environ 7 % de la surface de la Terre) comme réserve naturelle est une mesure de protection de l'environnement sans précédent dans l'histoire de l'humanité. Depuis lors, l'accent est moins placé sur la recherche et la gestion de l'Antarctique que sur les aspects environnementaux.

Depuis 1985, la Politique scientifique fédérale belge est responsable du financement et de la gestion du 'Programme

scientifique belge sur la recherche en Antarctique'. Alors que ce programme était, à l'origine, une entité autonome, il s'est vu intégré, au fil des ans, à des programmes thématiques plus larges. Depuis 2012, la recherche en Antarctique s'inscrit dans le nouveau programme-cadre BRAIN-be (Belgian Research Actions Through Interdisciplinary Networks). Les thématiques abordées sont les écosystèmes, la biodiversité, l'évolution, les géosystèmes, l'univers, le climat et la gestion des données et des collections. Les projets de recherche sont évalués par un panel international d'experts.

Les activités de recherche belges se caractérisent par leur forte intégration dans les réseaux de recherche internationaux, ce qui s'explique en partie par le fait que la Belgique, au cours de la période 1985-2009, ne disposait pas d'une structure propre en Antarctique et nos équipes de chercheurs devaient s'insérer dans des équipes d'expédition originaires d'autres pays pour pouvoir réaliser leurs recherches. De la même manière, depuis 2009, d'autres pays peuvent participer aux campagnes de recherche belges à partir de la station Princesse Élisabeth. La coopération internationale existante se voit ainsi renforcée et élargie, dans l'esprit et la stricte application du Traité sur l'Antarctique.

Dans ce contexte, le programme de recherche prévoit également la possibilité d'un soutien financier de la part de partenaires étrangers.



Le Secrétariat Polaire est la structure étatique, créé au sein de la Politique scientifique fédérale, qui gère la Station Princesse Elisabeth, emblème de la présence belge en Antarctique. Le Secrétariat Polaire existe depuis mai 2009 et est opérationnel depuis mars 2010. C'est donc une structure récente équivalente à d'autres Instituts polaires dans le monde.

Depuis un peu plus d'un an, sa direction a été confiée à Rachid Touzani. Bio-ingénieur de formation, passionné par l'environnement, par la science et l'innovation, il a comme objectif de développer le Secrétariat Polaire, à l'image de ce qui se fait dans d'autres pays présents aux Pôles, en une structure d'expertise belge pour les Pôles, contribuant activement à l'acquisition de connaissances essentielles, à l'existence et à la pérennité de l'humanité.

La mission actuelle du Secrétariat Polaire est d'assurer la gestion financière, administrative et matérielle de la Station Princesse Elisabeth et de veiller à permettre d'associer les partenaires potentiels des activités de la station à ses objectifs que sont la mise en œuvre, la promotion des activités scientifiques de la station et la diffusion de la connaissance scientifique relative aux recherches en Antarctique et aux changements climatiques. Pour ce faire, le Secrétariat Polaire a mis en place un plan stratégique sur cinq années qui définit le développement de la station et de ces missions.

Chaque année, le Secrétariat Polaire envoie des scientifiques belges et étrangers à la Station Princesse Elisabeth, afin qu'ils puissent effectuer des recherches dans des domaines divers tels que la biologie (BELDIVA), la glaciologie (ICECON), la géologie et la géophysique (GIANT-LISSA), les météorites (SAMBA), les sciences atmosphériques (HYDRANT, BELATMOS). Ces projets sont financés par la Politique scientifique fédérale.



Plusieurs projets sont le fruit d'une collaboration internationale. Le projet SAMBA est par exemple réalisé en association avec le Japon, GIANT-LISSA avec le Luxembourg et ICECON avec le Luxembourg, la Norvège et l'Australie. La station est aussi utilisée par d'autres pays pour des recherches qui leurs sont propres. Le Secrétariat Polaire leur apporte alors une aide logistique.

L'entretien et la maintenance au sens large, incluant la logistique opérationnelle de la Station et de ses équipements, ont été confiés, par le Secrétariat Polaire, à la Fondation Polaire Internationale, en tant qu'opérateur logistique, dans le cadre d'un partenariat public-privé. Les particularités de la Station et les conditions extrêmes de l'Antarctique font de cette tâche, un challenge permanent.

Une gestion durable de l'Antarctique et des écosystèmes liés (terrestres, marins) à travers les activités réalisées dans le cadre du Traité sur l'Antarctique relève de l'intérêt général de l'humanité. Il est essentiel de garantir l'avenir de ce continent unique comme référence irremplaçable pour la recherche, d'étudier les changements globaux (climat, écosystèmes, biodiversité) et de convaincre chacun de notre responsabilité collective.

Les auteurs

Maaïke Vancauwenberghe est gestionnaire du programme Antarctique de la Politique scientifique fédérale.

Rachid Touzani est directeur du Secrétariat Polaire.

Plus

Le programme de recherche belge relatif à l'Antarctique : www.belspo.be/antar

L'Antarctique

1959 : paix, environnement, coopération scientifique internationale
2013 : les enjeux stratégiques du Continent blanc

La XXXVI^e Antarctic Treaty Consultative Meeting (ATCM) a lieu à Bruxelles du 20 au 29 mai 2013 au Palais d'Egmont où sont attendus plus de 50 délégations et 350 participants. Le Service public fédéral Affaires étrangères prépare et organise la conférence en coordination avec le SPP Politique scientifique ainsi que le SPF Santé publique, Sécurité de la chaîne alimentaire, Environnement tant pour l'apport en contenu que pour la préparation logistique de la conférence. Il s'agit donc d'un travail de coopération exemplaire entre différentes institutions publiques fédérales belges.

Pour les Parties Consultatives du Traité sur l'Antarctique signé à Washington le 1^{er} décembre 1959, il est de l'intérêt de l'humanité tout entière que le Continent blanc soit à jamais réservé aux seules activités pacifiques et ne soit ni le théâtre ni l'enjeu de différends internationaux. Toute activité relative aux ressources minérales, autre que la recherche scientifique, est interdite par le Protocole au Traité de l'Antarctique relatif à la protection de l'Environnement signé à Madrid en 1991.

Plus précisément, le Traité 'gèle' les revendications territoriales de sept états : le Chili, l'Argentine, la Grande Bretagne, la Norvège, l'Australie, la Nouvelle Zélande et la France. Ceux-ci continuent néanmoins à administrer les secteurs revendiqués comme s'ils leur appartenaient.

En Antarctique occidentale, les secteurs dans la péninsule de l'Antarctique du Chili, de l'Argentine et de la Grande Bretagne se superposent à certains endroits.

En Antarctique orientale, quatre pays se partagent le territoire : la Norvège (Terre de la Reine Maud), l'Australie (Territoire Antarctique Australien), la Nouvelle-Zélande (Dépendance de Ross), et la France (Terre Adélie).

Toutes les puissances reconnaissent que l'Antarctique est une réserve immense en ressources naturelles.

À l'heure où, au Nord, l'Arctique fait l'objet d'une véritable ruée vers les richesses qu'il recèle, des pressions se font sentir par plusieurs nations pour lever l'interdiction imposée par le Protocole de Madrid de procéder à des forages.

Dès 1908 déjà, des traces de charbon y étaient identifiées. Les explorations menées depuis ont peu à peu révélé la présence de bien d'autres minerais... Au point que, désormais, l'inventaire couvre pétrole, méthane, uranium, fer, cuivre, zinc, manganèse, cobalt, molybdène, et même de l'or et de l'argent. Des indices de minéralisation ont été découverts à la périphérie du continent et au sommet des montagnes, sur les 3 % de surface à l'air libre. Les 97 % restants sont en effet recouverts d'une épaisse couche de glace - de 2 kilomètres d'épaisseur en moyenne. A cela s'ajoutent de gigantesques bancs de krill dans les eaux au large du continent. Ces petites crevettes d'eau froide intéressent l'industrie agro-alimentaire, la recherche pharmaceutique dans les médicaments anti-cholestérol, ou dans l'action d'éco synthèse des krills dans l'océan pour y enfouir le CO₂.





Le krill (ou Euphausiacea) est le nom générique de petites crevettes de plus ou moins 1 à 2 cm de long vivant dans des eaux froides. Il existe un peu moins d'une centaine d'espèces de krill différentes. Les adultes vivent en larges groupes ou bancs qui couvrent parfois des centaines de km², tandis que les œufs et les larves peuvent se trouver jusqu'à plus de 1 000 m de profondeur. La biomasse du krill s'élève à 650 millions de tonnes, ce qui fait de l'espèce une des espèces animales la plus abondante de la planète.

L'espèce de krill présente en Antarctique est principalement l'*Euphausia superba*. Le krill constitue la première source d'alimentation de nombreux animaux en Antarctique : des baleines et, d'autres cétacés, des pingouins, des oiseaux marins, des poissons et des grands crustacés. Le krill est donc fondamental pour la chaîne alimentaire en Antarctique.

Le krill fait l'objet d'une pêche industrielle en Antarctique. Grâce à sa haute valeur calorique et à sa richesse en oméga3, le krill est fort apprécié sur le marché des additifs nutritifs, des produits cosmétiques et des aliments pour animaux. Différentes instances et ONG tirent la sonnette d'alarme. Le krill, ainsi que tout l'écosystème qui dépend de lui est victime de surpêche. Un contrôle intensif sur les quotas de même que des fermetures de zones de pêches sont nécessaires ! En effet, plus de 200 000 tonnes sont pêchées par an et ce nombre ne cesse d'augmenter. Il n'y a pas que les activités humaines qui menacent le krill. Son avenir est également compromis par le réchauffement climatique ainsi que par la présence dans son habitat de substances toxiques que le krill transmet ensuite dans la chaîne alimentaire.

Les limitations à l'exploration effrénée suivie inexorablement de l'exploitation commerciale du Continent blanc sont, non seulement juridiques mais aussi techniques, à l'heure actuelle. En témoigne notamment l'arrêt qu'a dû décréter la Grande Bretagne le 25 décembre 2012 au forage scientifique sous le lac Ellsworth, se situant à 3,4 km de profondeur, sans avoir pu réaliser l'opération prévue. En février 2012, la Russie dans une opération similaire était descendue à plus de 3.000 m en vue d'atteindre le Lac Vostok situé à près de 4.000 m sous la glace.

La question de la bioprospection, c'est-à-dire la recherche scientifique possédant une composante économique prometteuse, est d'une grande importance dans le Système du Traité sur l'Antarctique. Elle s'effectue en Antarctique depuis quelques années. Cette activité est autorisée si elle se déroule en respectant les obligations de libre disposition des résultats des recherches. De nombreuses questions juridiques délicates sont soulevées. La prospection biologique constitue un important enjeu économique et environnemental, notamment dans le secteur de la pharmacutique, de la médecine et certains secteurs industriels. Il reste à savoir à quel point l'exploitation des résultats des découvertes scientifiques par des brevets, par exemple, est compatible avec l'échange de données scientifiques. Depuis 2002, ce thème revient chaque année à l'ordre du jour de l'ATCM ; or, il y a un besoin urgent de la règlementer car il s'agit d'une activité commerciale menée principalement par le secteur privé de manière extensive et généralisée. Ce thème sera traité à l'ATCM XXXVI, à Bruxelles cette année.

La Belgique s'intéresse très activement à cette problématique. Par le passé, notre pays a financé une base de données Internet consacrée aux activités de bioprospection et a en outre participé activement aux travaux d'un groupe de contact inter-sessions sur ce thème. Il est primordial de veiller à ce que le libre échange des informations scientifiques ne soit pas compromis et à maintenir la cohérence avec les processus intervenant dans le cadre de Convention sur la Biodiversité (CBD) et de la Convention des Nations Unies sur le Droit de la Mer (UNCLOS). Le partage éventuel des recettes doit aussi être profitable à la science et à la protection de l'environnement.



Accès aux ressources génétiques et partage des bénéfices en Antarctique ?

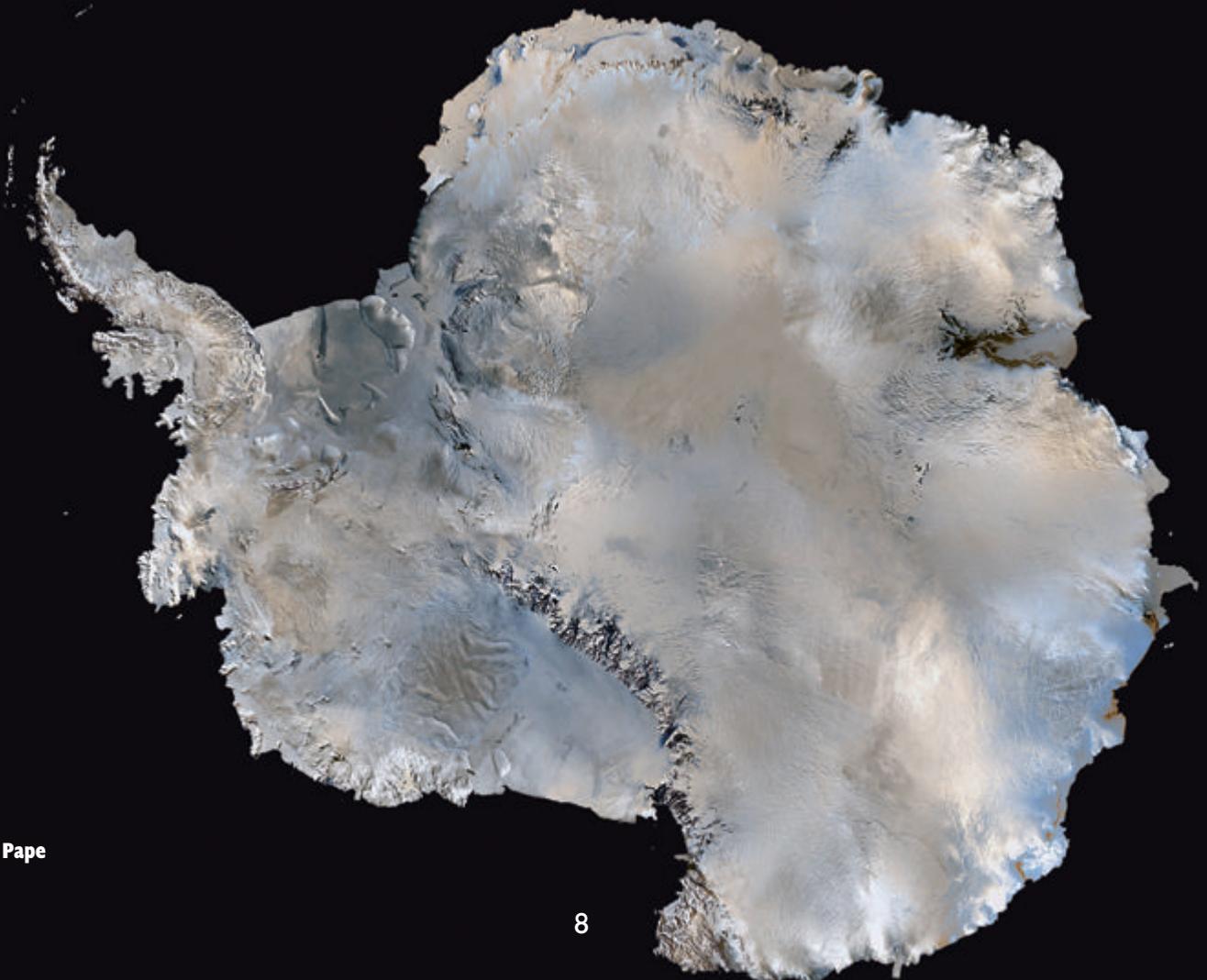
Le Protocole de Nagoya sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation instaure un système de gouvernance mondiale en matière de biodiversité. En effet, ce protocole qui fait partie intégrante de la Convention sur la Diversité Biologique (CBD) fournit un cadre international juridiquement contraignant et particulièrement unique. Ce protocole encourage l'utilisation des ressources génétiques et des connaissances traditionnelles associées tout en incitant le partage des avantages découlant de leur utilisation. De cette façon, il stimule de manière significative les activités de conservation et d'utilisation durable de la biodiversité.

Applicable aux ressources génétiques sur lesquelles les Etats ont droit de souveraineté (Article 15, CBD), le Protocole de Nagoya incite les pays fournisseurs de ressources génétiques à clarifier leur politique en matière d'accès, contribuant ainsi à résoudre l'une des questions les plus controversées en matière de diplomatie environnementale : la bio-prospection.

Cependant, il existe d'autres instruments régissant l'Accès aux ressources génétiques et le Partage des avantages (APA). Certains s'appliquent à des sous-catégories spécifiques de ressources génétiques, d'autres abordent la problématique de l'accès aux ressources génétiques situées dans des zones géographiques bien déterminées.

En Antarctique, toutefois, aucun de ces instruments juridiques 'classiques' n'est d'application car le continent blanc est soumis à un régime juridique international. En effet, le continent et les écosystèmes marins qui l'entourent sont administrés par des Traités et Conventions spécifiques qui, bien que prenant en compte les notions de conservation et d'utilisation rationnelle, ne fournissent pas un cadre juridique compréhensif quant à l'utilisation des ressources génétiques et biologiques présentant un intérêt grandissant pour la recherche et son exploitation commerciale.

Cette situation ne permet donc pas d'établir sur le continent blanc un lien similaire à celui instauré par le Protocole de Nagoya entre le partage des avantages d'une part et la conservation et l'utilisation durable d'autre part. Cependant, il n'est pas exclu que cette lacune soit, à terme, couverte puisque les Parties au Protocole de Nagoya devront examiner, une fois ce dernier entré en vigueur, la nécessité et les modalités d'un mécanisme multilatéral mondial de partage des avantages qui pourrait couvrir l'Antarctique.



Les thèmes du changement climatique et du réchauffement de la planète, du tourisme en croissance constante ainsi que des activités non gouvernementales en Antarctique retiennent aussi l'attention des Parties et sont traitées lors des réunions ATCMs.

Lors de l'ATCM XXXVI, la Belgique continuera à défendre le principe que le continent soit une terre de paix, qu'il faut protéger son écosystème unique, promouvoir la recherche scientifique et protéger l'environnement.

Le changement climatique global ne laisse pas l'Antarctique de glace !

Le 'Quatrième Rapport d'évaluation' du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) de 2007 a, plus qu'indubitablement, posé un jalon dans le développement de la politique en matière de climat au niveau international : en dissipant les incertitudes au sujet des causes du changement climatique (l'être humain), il a permis de réfuter une bonne fois pour toutes les arguments des climato-sceptiques. En outre, il a également eu le mérite d'exposer le consensus réunissant environ 2 000 experts mondiaux renommés de la climatologie autour d'un très grand nombre de constats qui ne peuvent désormais plus être mis en doute dans les milieux scientifiques.

Ce rapport aborde largement la question du réchauffement de l'Antarctique et de son impact, et établit sans équivoque (entre autres) la présence d'une hausse des températures notable et significative au cours des 5 dernières décennies, même si de fortes différences régionales sont à relever.

Dans les régions confrontées à une hausse des températures, l'impact sur les écosystèmes marins et terrestres est notable. On constate ainsi une prolifération des éponges et de leurs prédateurs en eaux peu profondes, alors que les populations de krill, de manchots empereurs et Adélie, ainsi que de phoques de Weddell reculent, et ce pendant que sur le continent, deux espèces florifères indigènes profitent des températures en hausse...

Mais l'année 2007 est déjà bien loin et depuis lors, un très grand nombre d'études scientifiques ont été publiées qui prouvent que le changement climatique persiste, s'amplifie et s'accélère. Et même si l'Antarctique est le seul des continents à encore échapper quelque peu à ce réchauffement, les retombées à long terme pourraient bien s'avérer néfastes, tant sur un plan direct (sur les écosystèmes antarctiques eux-mêmes) que sur un plan indirect (par le biais de systèmes répercussifs influant sur le climat).

La première partie du Cinquième Rapport d'évaluation du GIEC comportant de nouveaux constats et projections devrait être publiée à la fin de l'année 2013. Une seule certitude : ce ne sera pas rassurant !

Notre pays rappelle son rôle historique dans les découvertes en Antarctique qui remontent à l'expédition de 1897 d'Adrien de Gerlache de Gomery (1866 - 1934) sur le 'Belgica', le premier à séjourner en hivernage complet en Antarctique. Son fils Gaston dirige l'expédition belge qui fonde la Base Roi Baudouin, en 1957, lors de l'Année géophysique internationale (AGI 1957-1958).

En tant que signataire originel du Traité sur l'Antarctique, la Belgique fournit à nouveau une contribution importante à la recherche scientifique sur place avec la station scientifique polaire Princesse Elisabeth et joue un rôle actif dans les conférences de suivi du Traité. Notre pays saisira l'occasion de l'ATCM XXXVI pour démontrer son expertise en technologies de l'environnement matérialisée par la réalisation de la Base Princesse Elisabeth, la première base bas carbone de l'Antarctique. Plusieurs Parties ont manifesté ces dernières années leur intérêt pour ce concept qui est promis à un bel avenir en Antarctique et certaines pensent construire une base sur ce modèle.

Les ATCM ont adopté de nombreuses mesures afin d'élargir, de compléter et de renforcer la protection de l'environnement en Antarctique. Notre pays voudrait protéger au maximum l'écosystème des océans du sud, où la CCAMLR (*Convention for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources*, 1980) serait exemplaire pour d'autres RFMOs (Regional Fisheries Management Organisations) dans le contexte d'une gestion durable des stocks de poissons.

Le SPF Affaires étrangères continuera à jouer son rôle dans les ATCMs pour respecter l'esprit du Système du Traité sur l'Antarctique auprès des autres parties consultatives, éviter que, sous les vocables de 'promotion de la recherche scientifique' et de 'protection de l'environnement' se développe un courant sous-jacent très présent d'intérêts géopolitiques et économiques.

Le Continent blanc contient de grandes espérances dans de nombreux domaines qui entrent dans les conditions des engagements internationaux actuels sur l'Antarctique.

Au côté des potentialités économiques naturelles relevées au niveau mondial, tant en Arctique qu'en Asie centrale où est bien avancé 'le Grand Jeu' du XXIème siècle, les promesses de richesses minérales diverses qu'offre l'Antarctique laissent rêveur. Ces immenses richesses commencent à attiser les convoitises. Dans le contexte de raréfaction des matières premières qui a déclenché la course à la prospection sous toutes les latitudes, la région polaire australe constitue de nouveaux enjeux économiques et géopolitiques à l'échelle de la planète tout entière.

Pour nombre de puissances, être politiquement investie en Antarctique, c'est l'espoir de conserver une voix diplomatique d'envergure en ce qui concerne les orientations de la gouvernance dans l'Antarctique et au plan international.

L'Antarctique et la protection de l'environnement



Le Traité sur l'Antarctique, signé à Washington D.C., le 1^{er} décembre 1959 est le premier des grands traités qui soumet une partie de la planète à un régime international spécifique. La zone couverte par ce Traité est définie comme celle s'étendant en dessous du 60e parallèle de l'hémisphère sud. L'Antarctique est donc à la fois une zone continentale et une zone marine.

L'exclusivité scientifique a pour corollaire l'interdiction de toute activité militaire. Un autre corollaire de l'utilisation scientifique exclusive, mais qui n'a pas été visé par le Traité de Washington, est la prohibition – ou du moins la limitation – des activités de prospection et d'exploitation des ressources naturelles minérales ou fossiles. Ce type d'activités a fait l'objet de négociations ultérieures qui ont finalement abouti à leur interdiction pure et simple par le Protocole de Madrid de 1991 ratifié par la Belgique en 1996 et entré en vigueur en 1998.

1. Le Protocole de Madrid sur la protection de l'environnement

Au cours des années 1980, la Belgique a été l'un des premiers Etats à soutenir la négociation d'un protocole spécifique visant à protéger l'environnement dans l'Antarctique. Dès 1989, le Parlement fédéral avait modifié la loi du 12 janvier 1978 relative à la protection de la faune et de la flore dans l'Antarctique en ajoutant un article interdisant à toute personne physique de nationalité belge et à toute personne morale de droit belge de procéder à tout acte ayant pour objet la prospection, l'exploration ou l'exploitation de richesses minérales en Antarctique.

Le Protocole de Madrid complète le Traité sur l'Antarctique et désigne le continent comme une 'réserve naturelle, consacrée à

la paix et à la science', interdit toutes les activités liées aux ressources minérales de l'Antarctique, sauf à des fins de recherche scientifique et définit les conditions de toute activité scientifique ou touristique dans la région. Dans ses annexes, il fixe notamment les règles pour l'établissement et la gestion des zones protégées¹ par les membres, l'évaluation d'impact sur l'environnement², la conservation de la faune et de la flore³, l'élimination et la gestion des déchets⁴, la prévention de la pollution marine⁵ ainsi que le régime de responsabilité pour les dommages causés à l'environnement.

Jusqu'en 2048, le Protocole peut uniquement être modifié avec l'accord unanime de toutes les parties à la Réunion consultative du Traité sur l'Antarctique (RCTA). Pour mettre en œuvre ces principes, le Parlement fédéral a adopté le 7 avril 2005 une loi sur ces matières. En vertu de cette loi, le Service Public Fédéral Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement est chargé de la mise en œuvre par la Belgique du Protocole de Madrid.

2. Le Comité pour la protection de l'environnement

Le Protocole de Madrid a créé un Comité pour la protection de l'environnement (CPE). Ce Comité est un organe consultatif spécialisé composé de 35 Etats parties et 1 Etat observateur qui donne des avis et formule des recommandations à la réunion des Etats membres du Traité. Le CPE tiendra sa 16^e réunion à Bruxelles du 20 au 24 mai 2013. Les principaux domaines d'activité du CPE sont l'évaluation d'impact sur l'environnement (EIE), la désignation de zones protégées et la protection de la biodiversité. Nous allons illustrer certains aspects du protocole.



© Pete Convey



© Pete Convey

1. Cf. ci-dessous ZSPA et ZGSA.

2 en 3. Cf. ci-dessous.

4. L'annexe III au Protocole Environnement stipule que "la quantité de déchets produits ou éliminés dans la zone du Traité sur l'Antarctique est réduite autant que possible". Elle identifie également différents types de déchets qui doivent être éliminés et fixe des règles pour le stockage et l'évacuation des déchets. L'introduction de certains produits comme les PCB est totalement interdite dans l'Antarctique. L'annexe prévoit aussi une planification de la gestion des déchets et l'élimination des déchets d'activités passées.

5. La zone du Traité sur l'Antarctique comprend 20 millions de kilomètres carrés de l'océan Antarctique. Ces eaux sont désignées comme "zone spéciale" où l'adoption de méthodes particulières obligatoires pour la prévention de la pollution marine est exigée (Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires). L'annexe IV au Protocole sur l'Environnement interdit le rejet d'hydrocarbures, de substances liquides nocives et d'ordures dans la zone du Traité sur l'Antarctique.

2.1 La Biodiversité

L'Antarctique a été relativement épargné par les activités humaines. La protection de la faune et de la flore indigènes a donc été un motif majeur de préoccupation depuis le début de l'exploration du continent. Le Protocole sur l'Environnement stipule que les activités menées dans l'Antarctique sont organisées et planifiées de façon à éviter 'une mise en péril accrue des espèces [animales ou végétales] en danger ou menacées'.

Le Protocole définit des mesures spécifiques, notamment :

- l'interdiction de prélever (enlever), et de causer une interférence nuisible, sauf avec un permis⁶;
- l'interdiction d'introduire des espèces non indigènes (volailles vivantes ou autres oiseaux ou chiens), sauf avec un permis⁷;
- la désignation d'espèces spécialement protégées (pétrel géant antarctique, albatros ou phoque de Ross).



Phoque de Ross © NOAA Photo Library

La Belgique est très active dans ce domaine puisqu'elle est l'initiatrice du site web www.biodiversity.aq qui constitue une base de données en ligne libre d'accès reprenant les données disponibles sur la biodiversité en Antarctique (voir article biodiversity.aq).

La CCAMLR (voir vignette CCAMLR) assure elle la conservation et l'usage rationnel du krill, du poisson et des autres ressources marines vivantes dans la zone de la convention.

6. Ces permis précisent l'activité autorisée. Ils sont délivrés uniquement (a) pour fournir des spécimens destinés à l'étude ou à l'information scientifique; (b) pour fournir des spécimens destinés aux musées, aux conservatoires, aux jardins botaniques et zoologiques ou à d'autres institutions ou usages à caractère pédagogique ou culturel. Il ne peut être pris davantage de mammifères, d'oiseaux ou de plantes indigènes que ceux strictement nécessaires.

7. Ceci inclut deux seules exceptions: les plantes domestiques et les plantes et animaux de laboratoire, y compris les virus, bactéries, levures et champignons..

2.2 Les Zones protégées

71 zones spécialement protégées de l'Antarctique (ZSPA) et 7 zones gérées spéciales de l'Antarctique (ZGSA) ont été désignées par le CPE. Une ZSPA vise à protéger des zones d'importance environnementale, scientifique, historique, esthétique ou naturelle remarquable ou des recherches scientifiques en cours ou planifiées (par exemple le Mont Harding, Terre Adélie, etc.). Une ZGSA est une zone où des activités sont menées ou le seront dans le futur (par exemple, les Collines Larsemann en Antarctique orientale, l'île de la Déception, etc.).

Une liste officielle des sites et monuments historiques (SMH) existe également depuis 1972. 86 sites sont maintenant considérés comme étant d'importance historique, par exemple la tente d'Amundsen lors de son expédition de 1911, aujourd'hui ensevelie sous la neige et la glace, les ruines de nombreuses bases, le mémorial aux 257 victimes de l'accident d'avion du Mont Erebus en 1979, le buste de Lénine sur les lieux de l'ancienne base soviétique, etc.

La liste de toutes les zones protégées est disponible à l'adresse suivante www.ats.aq/e/protected.htm



2.3. Les permis environnementaux

En vertu de la loi du 7 avril 2005, le SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement prépare également les permis d'environnement requis pour toute visite touristique ou scientifique de citoyens belges en Antarctique. Ces permis sont signés par le ministre ou secrétaire d'État fédéral chargé de la politique environnementale. Environ 5 permis sont délivrés en moyenne chaque année.

Pour l'année 2012, 8 permis ont été accordés dont début novembre, celui concernant l'expédition BELARE 2012-2013 à la base Princesse Elisabeth. Un permis a aussi été accordé à trois traversées en voilier avec des touristes à son bord.



2.4 Les écosystèmes marins en Antarctique

D'un point de vue biologique, l'on peut difficilement séparer les parties terrestres et marines de l'Antarctique. En effet, les mammifères marins dont les territoires sont protégés par des ASPA (*Antarctic Specially Protected Areas*) doivent pouvoir trouver suffisamment de nourriture dans les zones marines, ce qui pose problème s'il y a, par exemple, une surpêche dans celles-ci.

Sur le plan politique, la communauté internationale a décidé de régir le continent antarctique par le biais du Traité sur l'Antarctique⁸. Cependant, en ce qui concerne la vie marine de l'Antarctique, un autre instrument, la Commission pour la conservation de la faune et la flore marine de l'Antarctique (CCAMLR) a été créée en 1982.⁹

En ce qui concerne les écosystèmes marins, la CCAMLR est donc l'organisation de référence.

CAMLR est l'acronyme utilisé pour la Commission pour la Conservation de la Faune et la Flore marines de l'Antarctique (*Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources*). Cette Commission a été établie en 1982 suite à la signature de la Convention sur la conservation de la faune et la flore marines de l'Antarctique. Cette Convention se voulait la réponse multilatérale des Parties consultatives au Traité face aux menaces pesant sur l'écosystème marin de la région du fait de l'intérêt croissant de la pêche commerciale pour les nombreuses ressources de l'Antarctique, dont le krill.

Principes – La CCAMLR applique une approche de gestion écosystémique. Cette approche n'exclut pas l'exploitation, mais la soumet à la condition de la durabilité et de la prise en compte des effets de la pêche sur les autres éléments de l'écosystème. Sur la base des meilleures informations scientifiques disponibles, la Commission approuve une série de mesures de conservation déterminant l'utilisation des ressources marines vivantes de l'Antarctique. Ceci concerne donc non seulement les espèces qui font l'objet de pêche commerciale, mais aussi d'autres espèces de poissons, ainsi que les phoques et les cétacés.

Membres – La Commission est formée de 25 Membres 'initiaux' dont la Belgique. La Commission est épaulée par un Secrétariat qui est situé à Hobart, en Australie (Tasmanie).

8. <http://www.ats.aq/e/ats.htm>

9. <http://www.ccamlr.org/en>

10. Article 9.2g de la CAMLR.

11. CBD Déc. X/29.

Les zones marines protégées

Une des manières dont CCAMLR entend protéger la biodiversité marine et son écosystème unique est, par l'instauration de zones marines protégées, une option explicitement prévue dans la convention,¹⁰ et dès lors soutenue par la communauté internationale.

En 2002, au Sommet mondial sur le Développement durable (Johannesburg), les Etats se sont engagés à établir des réseaux représentatifs de zones marines protégées pour 2012. La communauté internationale a répété cette promesse lors de la 10ème Conférence des Parties de la Convention sur la Diversité biologique (Nagoya, 2010) – où les Etats-Membres se sont en outre engagés à protéger 10% des zones côtières et marines pour 2020¹¹ – et lors du Sommet Rio+20 au Brésil en juin 2012.



La légine (*Dissostichus*, connue sous le nom générique de 'toothfish' en anglais – poisson à dents – pour des raisons physiologiques qui se laissent aisément deviner) est un poisson de grande taille qui peut atteindre jusqu'à 2m et peser environ 80kg. Elle peut vivre au-delà de 35 ans. La légine vit essentiellement de manière démersale – c'est-à-dire, près du fond. La légine australe est la sous-espèce qui est retrouvée en Antarctique.

Menaces – La légine est fort appréciée pour sa chair blanche et ferme. Sa popularité gastronomique va croissant. Ce succès est récent. C'est pourquoi la pêche commerciale intensive date des années 1990 seulement. Vu son mode de vie démersale, la légine est souvent pêchée par chalutage, ce qui a un effet destructeur sur son habitat. Malgré le fait que cette forme de pêche est maintenant interdite, la légine fait régulièrement l'objet de pêche illégale. Etant donné son cycle de reproduction très lent – souvent après des dizaines d'années – la légine est tout particulièrement vulnérable à la surpêche.

La CCAMLR n'a pas manqué de prendre ses responsabilités et a suivi cet appel dès 2004, en adoptant des résolutions encourageant ses différents comités et groupes de travail à procéder à l'étude de la possibilité d'aires marines protégées en Antarctique.¹² On notera en particulier l'adoption en 2011 du Cadre général d'établissement d'aires marines protégées de la CCAMLR.

CCAMLR applique une approche éco-systémique, ainsi que le principe de précaution, ce qui fait d'elle une des organisations de gestion de pêche parmi les plus progressistes, en particulier pour les zones hors juridiction nationale.

Lors de la réunion de 2012, différentes propositions pour la création d'un réseau d'aires marines protégées ont été faites, entre autres, par l'Union européenne, l'Australie, la Nouvelle-Zélande et les Etats-Unis. Cependant, tous les Etats membres de la CCAMLR n'ont pas réussi à se mettre d'accord et n'ont donc pas pu respecter la date butoir de 2012. C'est pour cette raison qu'une réunion inter-sessionnelle extraordinaire de la CCAMLR sera organisée en juillet 2013 en Allemagne. Les Etats parties auront alors une dernière chance d'agir à la hauteur des attentes et de préparer une proposition qui pourra être adoptée à l'unanimité lors de la réunion formelle de la CCAMLR en automne 2013.

Opportunité dans les marges de l'ATCM

L'établissement de zones marines protégées dans l'Antarctique n'est pas seulement une aspiration de la CCAMLR, mais a également été abordée par les Etats Parties lors des réunions du Comité de Protection de l'Environnement (CEP) qui ont lieu lors des Réunions Consultatives annuelles du Traité sur l'Antarctique (RTCA). Le CEP a identifié la création des aires marines protégées comme une priorité¹³ et a co-organisé des *workshops* sur le sujet avec CCAMLR. En outre, la majorité des Etats CCAMLR sont aussi des Etats Parties du Traité sur l'Antarctique et les zones visées par les deux conventions sont non seulement voisines, mais en plus interconnectées. Les liens entre les deux entités sont donc évidents.

La Belgique organise le 23 mai 2013, avec l'ONG Antarctic Oceans Alliance, l'un *side-event* en marge de la réunion ATCM, intitulé 'Blue and White, Land and Sea'.

Il a pour but de réaffirmer les engagements de protection et de conservation environnementaux inclus dans le Traité sur l'Antarctique et de mettre en valeur la synergie entre la gestion des composantes terrestres et marines de l'environnement en Antarctique.

Le *side-event* est une opportunité de coopération entre les membres du Traité de l'Antarctique pour encourager l'établissement d'un système de zones marines protégées via un processus déjà en cours au sein de CCAMLR.

L'ATCM XXXVI offre donc une occasion unique pour les Etats – dont la plupart participent aux travaux de la CCAMLR et du CEP – de se consulter informellement. En outre, la question des zones marines protégées fera partie d'un *side event* co-organisé par la Belgique dans les marges de l'ATCM.

L'ampleur et le potentiel de l'ATCM XXXVI ne se limitent donc pas à la partie terrestre de l'Antarctique, la réunion aura également un effet sur les ressources marines de la région.

Les auteurs

Christine Stevens est Ambassadeur et Envoyée spéciale pour la Réunion des Parties Consultatives du Traité sur l'Antarctique. Joëlle Smeets est Communication Officer auprès du SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement.

12. Voir, entre autres, CCAMLR-XXIII, § 4.13; CCAMLR XXIV, § 4.14; CCAMLR-XXIV, § 4.12; CCAMLR-XXVII, § 7.2 (i); CCAMLR-XXVIII, § 7.19; CCAMLR-XXVII, § 17.9.

13. CEP IX Rapport final, §§ 94-101.

14. <http://antarcticocean.org/>

www.biodiversity.aq
Le portail d'accès aux données
sur la biodiversité
de la région du pôle Sud



Diomedea exulans et *Stercorarius antarcticus* sur Bird Island
© Anton Van de Putte

Que vous soyez à la recherche d'informations sur les organismes antarctiques ou de données sur la biodiversité à des fins de recherche scientifique, de conservation, de gestion ou simplement par intérêt, votre principal portail d'accès aux données (primaires) sur la biodiversité de l'Antarctique est www.biodiversity.aq. Ce portail de données en ligne propose un accès libre et ouvert à des données sur la biodiversité de l'Antarctique provenant d'un réseau de fournisseurs de données, mais il dispose également d'autres fonctions intéressantes.

Le début

L'origine de www.biodiversity.aq remonte à l'année polaire internationale (2007-2008), et plus précisément au projet SCAR-MarBIN (le réseau de biodiversité marine du SCAR, le comité scientifique pour la recherche antarctique). Ce projet de la plateforme belge de biodiversité, financé par Belspo, avait démarré en 2005. Claude De Broyer (Institut royal des Sciences naturelles de Belgique) avait alors fait remarquer que, bien que l'océan Austral soit très riche en biodiversité et que de nombreuses études aient été menées, cette masse d'informations scientifiques et techniques était très dispersée, fragmentée et souvent difficilement accessible.

Avantages de la publication des données

Pour effectuer des recherches efficaces permettant de comprendre et de protéger les écosystèmes de l'océan Austral et du continent, il est fondamental de disposer d'un mécanisme ouvert, libre et pratique pour échanger les informations sur la biodiversité de l'Antarctique. La communauté scientifique antarctique a depuis longtemps embrassé l'idée que les données primaires sur la biodiversité devaient être rendues accessibles au public le plus rapidement possible après avoir été collectées, et ce dans l'esprit de l'article III, paragraphe 1 c du traité sur l'Antarctique qui prévoit de procéder 'à l'échange des observations et des résultats scientifiques obtenus dans l'Antarctique qui seront rendus librement disponibles'. Même si les chercheurs s'efforcent de publier les résultats de leur travail dans des revues scientifiques, ces articles contiennent généralement une analyse et une interprétation des données, mais pas les données mêmes. Or, l'accès aux données d'origine (observations, mesures) est particulièrement utile pour la communauté scientifique : les données publiées peuvent être

à nouveau analysées pour étayer des points de vue ou des hypothèses scientifiques ou fusionner avec plusieurs ensembles de données afin de réaliser des analyses de grande ampleur et d'étudier ainsi des mécanismes sur une plus grande échelle temporelle ou spatiale. L'accès en ligne à ces ensembles de données primaires évite également les pertes dans le cas où un chercheur part à la retraite ou change de carrière par exemple.

Réseau de biodiversité

L'initiative avait pour but de fusionner toutes les données disponibles, issues de sources scientifiques ou autres, comme la gestion des écosystèmes et la préservation de la nature. Alors que le réseau SCAR-MarBIN d'origine se limitait à la vie marine en Antarctique, [biodiversity.aq](http://www.biodiversity.aq) chapeaute un réseau donnant accès aux données sur la biodiversité terrestre et marine. [Biodiversity.aq](http://www.biodiversity.aq) transmet également les informations recueillies aux initiatives mondiales en faveur de la biodiversité comme le 'Ocean Biogeographic Information System' (OBIS), qui donne accès aux données sur les espèces marines du monde entier, et le 'Global Biodiversity Information Facility' (GBIF). La nouvelle plateforme de données (data.biodiversity.aq) recueille les données sur la biodiversité antarctique provenant de différentes sources, comme le réseau allemand PANGEA et l'Antarctic Data Centre' australien et propose un service d'hébergement de données et de publications aux pays ou aux instituts de recherche qui réalisent des recherches sur l'Antarctique, mais qui ne disposent pas de tels moyens. La plateforme de données permet donc de rechercher et d'obtenir toutes les données sur la biodiversité accessibles au public.

On assiste actuellement à l'apparition d'une tendance dans le domaine des sciences : les scientifiques publient également leurs résultats dans des 'data papers' qui décrivent l'ensemble de données qu'ils ont utilisé dans leur travail scientifique. Un 'data paper' est rédigé sous une forme lisible et structurée, puis publié dans une revue scientifique spécialisée, tandis que les données sont hébergées dans un référentiel en ligne. Un 'data paper' stimule les chercheurs, car cette publication, qui peut être citée en référence, renforce leur renommée scientifique tout en attirant l'attention de la communauté universitaire sur l'ensemble de données décrit.



Mousses et lichens forment une végétation cryotogame 'fellfield' sur Bird Island © Pete Convey



Phobetria palpebrata © Whoeler



Salpa thompsoni
© Anton Van de Putte

Le concept du 'Data paper'

Global Biodiversity Information Facility (GBIF) et Pensoft Publishers ont créé un système qui répond à ce besoin : l'Integrated Publishing Toolkit (IPT). Les chercheurs peuvent télécharger leur ensemble de données et l'accompagner d'une description structurée que l'on appelle métadonnées. Ces métadonnées, qui sont surtout destinées aux systèmes informatiques et aux bases de données, ne sont généralement pas disponibles dans un format aisément lisible. En un clic, l'IPT peut générer un 'data paper' lisible qui peut être présenté à un nombre grandissant d'éditeurs de données. Un IPT de ce type, consacré aux données sur la biodiversité antarctique, est hébergé à l'adresse ipt.biodiversity.aq. Ainsi, tous les chercheurs peuvent publier facilement leurs données et les rendre disponibles pour les générations de chercheurs à venir.

Le portail biodiversity.aq accueille également, dans sa structure, des sous-domaines spécifiques qui répondent aux différents besoins de la communauté, comme les 'Antarctic Field Guides', un outil d'identification en ligne des espèces, ainsi que des liens vers des projets spécifiques comme l'Atlas biogéographique de l'océan Austral.

Antarctic Field Guides

Le site 'Antarctic Field Guides' est un instrument collaboratif élaboré par des scientifiques, qui donne libre accès aux informations susceptibles d'aider à identifier les organismes antarctiques. Il permet aux utilisateurs de créer un guide d'identification personnalisé pouvant être emporté sur le terrain ou tout simplement feuilleté. Les pages sont générées directement à partir de ressources autorisées et contrôlées (SCAR-MarBIN, ANTABIF, RAMS, GBIF). Les utilisateurs ont ainsi accès à des informations actualisées sur le groupe d'organismes qui les intéresse. Les photos de grande qualité et les descriptions d'espèces rédigées par des experts permettent d'identifier les organismes antarctiques. Chaque utilisateur peut réaliser son propre guide personnalisé. Ces guides de terrain peuvent être stockés en ligne ou conservés au format PDF, sur ordinateur ou sous forme imprimée. Les utilisateurs ont ainsi accès à de bons outils d'identification sans devoir emporter avec eux une immense collection de livres. Même s'ils sont, à la base, destinés aux scientifiques, les 'Antarctic Field Guides' peuvent être utilisés par tous ceux qui s'intéressent à la biodiversité de l'Antarctique. Même les touristes seront en mesure de créer un guide de terrain personnalisé des animaux qu'ils souhaitent voir sur les mers gelées de l'océan Austral.



Calamar
© Anton Van de Putte

Atlas biogéographique

L'Atlas biogéographique de l'océan Austral, réalisé sous la supervision de Claude De Broyer (IRSNB) et de Philippe Koubbi (Université de Paris), est un autre projet auquel la plateforme biodiversity.aq contribue. L'aperçu biogéographique le plus récent de l'océan Austral, appelé 'Antarctic Folio series', date de la fin des années 60. Ces dernières années, un groupe international de près de 100 experts a contrôlé les données de distribution et ajouté de nouvelles données. Ils ont étudié l'origine des groupes taxonomiques et tenté d'expliquer la répartition des espèces. La version imprimée de cet Atlas est actuellement en voie d'achèvement et sera présentée lors de la prochaine conférence de biologie du SCAR à Barcelone en juillet 2013. Les données sur lesquelles le nouvel atlas se base seront rendues publiques sur biodiversity.aq.

Avec toutes ces nouveautés, biodiversity.aq accomplit quelques pas de plus vers l'accès libre et ouvert aux données sur la diversité de la région du pôle Sud. L'équipe à l'origine de ce projet s'efforce en permanence de répondre aux besoins en évolution de la communauté. Elle travaille actuellement sur l'intégration de nouveaux types de données sur les espèces, comme les données moléculaires ou les données de 'traçabilité' des mammifères marins et des oiseaux, et cherche à améliorer la fonctionnalité proposée par biodiversity.aq.

Les auteurs

Anton Van de Putte est collaborateur scientifique au projet AntaBIF.

Hendrik Segers est coordinateur scientifique de la Plateforme belge de biodiversité.



Calamar
© Anton Van de Putte



Hyperia macrocephala © Anton Van de Putte

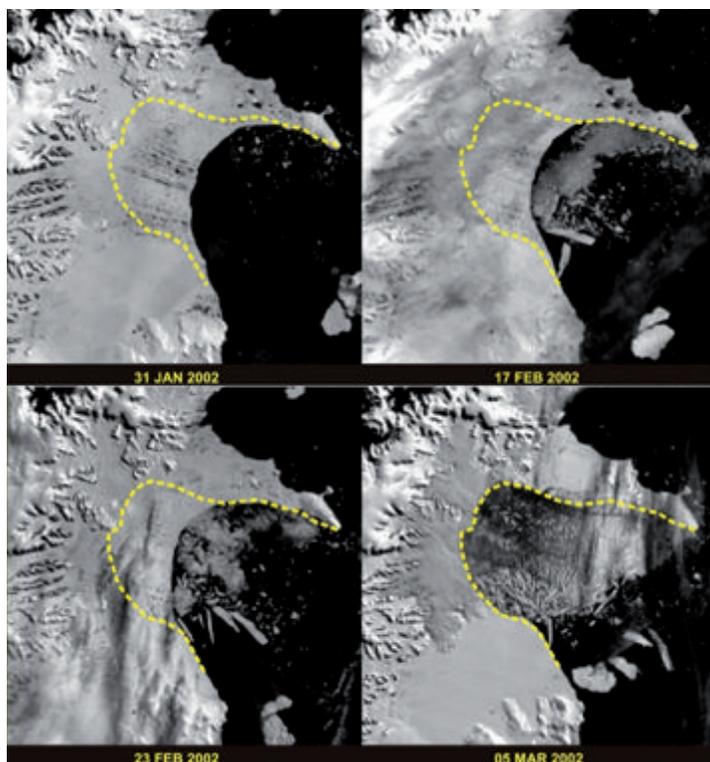
Un robot sous-marin belge explore les fonds antarctiques

En janvier-février 2010, trois jeunes chercheurs ont exploré les mers de l'Antarctique avec Genesis, le robot sous-marin de l'université de Gand. Pendant les 57 jours de l'expédition, Genesis a étudié 11 nouveaux fonds marins. Cette exploration belge a eu lieu grâce à Belspo, dans le cadre du projet HOLANT.

Les zones d'ombre sur la carte du monde sont depuis bien longtemps dissipées et, grâce aux satellites, il n'est même plus nécessaire de quitter le confort de son bureau. Il suffit en effet de naviguer sur Google Earth pour visiter virtuellement les plus beaux endroits sur Terre. Plus besoin de prendre de risques pour faire des découvertes. Finie aussi cette impression d'être totalement inaccessible, coupé du monde.

Mais il existe encore des zones inexplorées sur notre planète : l'Antarctique. Ce continent n'est certes pas un territoire entièrement vierge, mais il recèle encore bien des mystères. L'université de Gand a fait le jour sur de nouvelles zones inconnues grâce au robot sous-marin ROV Genesis. Les profondeurs des mers antarctiques livrent, elles aussi, petit à petit leurs secrets.

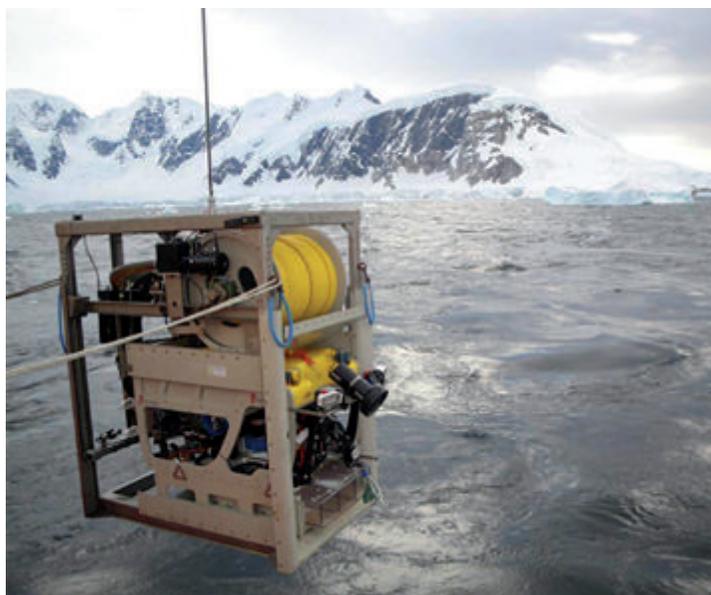
ROV est l'abréviation de 'Remotely Operated (underwater) Vehicle'. Il s'agit d'un robot sous-marin assez compact, de type Sub-Atlantic Cherokee, à même de réaliser de nombreuses manœuvres. Le ROV Genesis a été récemment cédé à l'Institut flamand de la mer (VLIZ) qui assume dorénavant la charge de cet instrument de pointe.



L'évolution de la désintégration de la plaque de glace de Larsen B.
© NASA



Situation des 11 régions étudiées au moyen du ROV.



Le ROV Genesis a été mis à l'eau dans Flandres Bay. © Lieven Naudts



Une étoile de mer. © Katrien Heirman



Des anémones de mer dansant. © Katrien Heirman

L'Antarctique est encore le seul endroit au monde où l'homme est spectateur. Ce continent n'appartient à personne. Les humains, les animaux et les végétaux y sont soumis à un climat glacial. Mais, ici aussi, l'influence de l'homme y est on ne peut plus perceptible. Le projet Larissa, réalisé dans le cadre de l'année polaire internationale, étudie sous différents angles les changements rapides et spectaculaires qui se sont produits au cours des dernières années dans la région de la plaque de glace de Larsen, sur la péninsule antarctique.

En 2002, une partie de cette plaque s'est brisée et désintégrée en milliers de morceaux en l'espace d'à peine six semaines. Cela s'est produit dans le secteur Larsen B, qui présente une superficie de 3 250 km² (un peu plus grand que la province de la Flandre-Occidentale) et une épaisseur de 220 m en moyenne. Il est communément admis que cette désintégration est une conséquence directe du réchauffement de la planète, devenu de plus en plus perceptible dans cette partie de l'Antarctique. Il y a fort à croire que ce n'est là que le début des changements que subiront les plaques de glace et la calotte glaciaire de l'Antarctique au cours des décennies à venir... L'exploration des fonds marins du secteur Larsen B était le but initial de cette expédition. Or, en raison de la disparition de la plaque de glace, l'action des glaciers de la région s'accélère. La glace des glaciers, plus dure que la glace de la mer, s'accumule en plus grande quantité dans l'eau. Cette glace épaisse a empêché les scientifiques d'atteindre la destination initiale de leur expédition et a bloqué l'accès à la région.

LARISSA est l'acronyme de LARsen Ice Shelf System Antarctica. Il s'agit d'un projet de recherche international rassemblant des scientifiques originaires des États-Unis, de Belgique, d'Argentine, d'Ukraine et de Corée du Sud. Le projet porte sur trois thématiques :

- Les géosciences marines du quaternaire
- La cryosphère et l'océan
- Les écosystèmes marins

Plus d'informations sur www.hamilton.edu/expeditions/larissa ou sur le blog de l'université de Gand : www.poolwijs.ugent.be

Mais ce contretemps n'a pas empêché l'équipe de faire d'autres découvertes intéressantes. Pendant 57 jours, le ROV gantois a exploré 11 nouveaux fonds marins au départ du brise-glace américain RVIB Nathaniel B. Palmer. Alors que la palette de couleurs de l'Antarctique se limite généralement au blanc, au gris et au bleu, c'est un merveilleux monde coloré qui a révélé son existence sous l'eau froide.

Le brise-glace américain RVIB Nathaniel B. Palmer ainsi qu'un léopard de mer se prélassant au soleil.

© Lieven Naudts



Le fond de la mer froide du pôle Sud fourmille de vie. Étoiles de mer, ophiures, marsouins et anémones de mer luttent pour se faire une petite place dans ces fonds marins. Bon nombre de ses organismes n'ont pas encore été étudiés et des analyses d'ADN doivent démontrer s'il s'agit d'espèces connues ou nouvelles.

L'Antarctique est toujours un lieu de vie et de survie. Le feu y côtoie la glace, puisqu'on y trouve, en effet, des volcans, sur terre comme au fond de la mer. Au cours d'une expédition précédente, quelques scientifiques de l'équipe Larissa avaient découvert un impressionnant volcan sous-marin. Leur étude bathymétrique des fonds marins avait soudain révélé, dans les profondeurs, une structure similaire à un volcan dont personne ne connaissait l'existence. Ils ne disposaient pas à bord, à l'époque, des appareils nécessaires pour vérifier si ce volcan était encore actif. Le ROV a permis d'apporter une réponse à cette question. Dès le début, la descente vers les fonds a été entravée par un gigantesque iceberg qui semblait posé sur le volcan. Mais le colosse a fini par bouger. Le ROV a alors commencé son exploration au pied du volcan avant de remonter lentement. En chemin, les scientifiques ont découvert une paroi volcanique entièrement recouverte de vie, offrant un contraste frappant avec le sommet, situé à environ 270 m sous la surface de la mer. Même si le volcan n'est plus actif, la vie au sommet y est impossible. On pouvait y voir les traces laissées par les icebergs. Ces gigantesques blocs de glace raclent le sommet, interdisant aux organismes de s'y fixer, à l'exception de quelques poissons solitaires effrayés par le ROV.



Un poisson solitaire sur le sommet dénudé du volcan sous-marin
© Katrien Heirman



Une paroi du volcan pleine de vie. © Katrien Heirman

Ce n'est pas le seul endroit où le ROV a enregistré un paysage désolé. Dans les eaux froides de Palmer Deep, les scientifiques ont fait une autre découverte stupéfiante. Palmer Deep est situé à l'ouest de la plaque continentale de la péninsule Antarctique. À environ 1 400 m de profondeur, les fonds marins étaient nus. Toute la vie colorée qui abonde en d'autres lieux était ici totalement absente. Des crabes royaux géants semblent en être la cause. Ces intrus, qui vivent généralement à de plus basses latitudes, ont migré ces dernières années avec le réchauffement de la mer en mangeant tout sur leur passage (Smith *et al.*, 2012). Pendant des millions d'années, l'eau froide a formé une barrière naturelle à l'expansion de ces crabes, mais des eaux de plus en plus chaudes pénètrent progressivement dans les mers et les océans de l'Antarctique. Ces changements permettent à de nouveaux organismes de survivre en Antarctique, perturbant ainsi le fragile équilibre écologique.



Deux gros crabes royaux dans un paysage désolé.

© Katrien Heirman

La hausse de la température de l'eau peut être liée au changement climatique. Au cours des 50 dernières années, la température de l'eau près de la péninsule Antarctique a augmenté de 1°C. Et cette augmentation se poursuit chaque jour de manière exponentielle.

Bien que l'Antarctique soit encore le lieu le plus intact de notre planète, les effets du changement climatique ne sont nulle part aussi perceptibles. L'étude initiale de la disparition des plaques de glace en raison de la hausse des températures a finalement débouché sur la découverte d'une espèce de crabes qui a émigré de la pointe de l'Amérique latine vers l'Antarctique avec le réchauffement des eaux de mer.

Les scientifiques s'accordent presque tous à dire que les changements se produisent plus rapidement que nous ne le prévoyons.

Références :

Smith, Craig R., Grange, Laure J., Honig, David L., Naudts, Lieven, Huber, Bruce, Guidi, Lionel and Domack, Eugene 2012. 'A large population of king crabs in Palmer Deep on the west Antarctic Peninsula shelf and potential invasive impacts.' *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences* 279 (1730): 1017-1026

Les auteurs

Marc De Batist dirige le Renard Centre of Marine Geology du Departement voor Geologie en Bodemkunde de l'Universiteit Gent. Katrien Heirman y est rattachée comme géologue.

Les poissons pélagiques de l'Océan Austral



L'isolation de l'Océan Austral par le front polaire antarctique depuis 31 millions d'années a donné lieu à une faune diverse, caractérisée par un fort endémisme, ce qui signifie que les espèces locales n'existent nulle part ailleurs au monde. Les températures froides de la mer (localement jusqu'à -2°C) ont entraîné des adaptations biologiques uniques, comme la présence de glycopeptides antigels et l'absence de globules rouges chez certains poissons. Cette faune appauvrie mais tout à fait caractéristique comptant environ 300 espèces de poissons est le fruit d'extinctions historiques. Le nombre étonnamment faible de prédateurs explique, quant à lui, la riche faune d'éponges, de crustacés et d'échinodermes présente dans les fonds marins. Dans le cadre du projet de Belspo PELAGANT, la KU Leuven s'est consacrée à l'étude des poissons pélagiques dans l'Océan Austral.

L'identification claire des espèces pose une première question, car elle peut représenter un immense défi dans le cas des œufs et des stades de vie précoces. Les méthodes génétiques offrent d'excellentes possibilités pour l'identification des poissons de l'Océan Austral. Une analyse réalisée à partir des séquences répétées en tandem a permis de distinguer différentes espèces apparentées dans le genre *Trematomus*. Le barcoding moléculaire est une technique standardisée permettant la caractérisation génétique des espèces, réalisée à l'aide d'un fragment d'ADN spécifique – le gène mitochondrial de la Cytochrome Oxidase I (COI) – qui est lu et comparé à une bibliothèque électronique de séquences COI connues. Cette méthode est également utilisée à des fins pratiques comme le suivi de la pêche et le commerce des produits piscicoles. Dans le cadre de l'année polaire internationale 2008/09, une collaboration entre le Census of Antarctic Marine Life (CAML), le projet Marine Barcoding of Life (MARBOL – www.marinebarcoding.org) et le Centre Canadien de Barcoding Moléculaire a permis d'inventorier plus de 20 000 échantillons de diversité marine antarctique appartenant à plus de 2 000 espèces et 18 phylums. L'utilisation du barcoding moléculaire a permis de découvrir plusieurs nouvelles espèces, et notamment des complexes d'espèces cryptiques. Ce sont des espèces qui se ressemblent fortement sur le plan morphologique, mais divergent sur le plan génétique. La contribution de la KU Leuven portait essentiellement sur des échantillons de différents stades de vie de poissons pélagiques et mésopélagiques. Les poissons pélagiques vivent à une profondeur pouvant atteindre 200 m, les poissons mésopélagiques à une profondeur de 200 à 1 000 m.

La composition de la communauté de poissons pélagiques diffère entre la zone côtière et la haute mer. Les zones côtières sont dominées par les stades larvaires des notothenioides, un groupe de poissons que l'on trouve presque exclusivement dans l'Océan Antarctique. La haute mer se caractérise par des poissons mésopélagiques; il s'agit généralement d'espèces provenant de familles que l'on retrouve partout dans le monde, mais qui sont ici représentées par quelques espèces endémiques.



Nototheniidae © Anton Van de Putte

Dans les zones côtières comme en pleine mer, les poissons constituent un élément important de l'écosystème. Ainsi, la calandre antarctique (*Pleuragramma antarcticum*), un poisson pélagique qui vit près des côtes, et le myctophidé antarctique (*Electrona antarctica*) qui vit en haute mer, représentent une part importante du menu des prédateurs de fin de chaîne comme les cétacés, les phoques et les pingouins. L'étude du régime et de la teneur énergétique de ces poissons permet de mieux comprendre leur rôle dans l'écosystème.

Chez la plupart des poissons, les graisses et les huiles constituent une source importante d'énergie. Mais le *P. antarcticum* procède différemment : il utilise des réserves de

graisses contenues dans de petits sacs spéciaux pour adapter sa masse volumique en remplacement de la vessie natatoire. Bien qu'il soit généralement admis que la teneur énergétique diffère d'une espèce à l'autre, ce qui a d'importantes conséquences pour le fonctionnement de la chaîne alimentaire (les poissons gras étant plus riches en énergie), il ne faut pas oublier que les animaux plus vieux ont une teneur énergétique plus élevée que les jeunes animaux. Ces nouvelles perspectives contribuent à améliorer les connaissances objectives concernant la structure et la dynamique de la chaîne alimentaire antarctique et, par conséquent, l'influence de l'intervention humaine, comme la pêche et la hausse des températures. Elles aideront à l'avenir à mettre en place des modèles d'écosystème généraux.



Pleuragramma antarcticum

© Anton Van de Putte



Poisson de glace

© Anton Van de Putte



Electrona antarctica

© Anton Van de Putte

De même, les études génétiques aident à comprendre dans quelle mesure les organismes ont réagi aux changements survenus dans l'écosystème antarctique. L'influence des cycles du pléistocène sur la dynamique de la population depuis 2 millions d'années se reflète dans les patrons de diversité génétique. Ainsi, pendant les périodes de fortes masses glaciaires, la zone côtière se réduit, entraînant la réduction des zones d'habitat de certains poissons pélagiques et démersaux de l'espèce '*Trematomus*'. Les espèces qui vivent dans la colonne d'eau et disposent d'une plus forte capacité de dispersion résistent généralement mieux à de telles variations que celles qui vivent sur les fonds marins. Ces variations jouent également sur la productivité et les aliments nécessaires pour maintenir les populations, ce qui a des conséquences sur la dynamique des populations. La diversité génétique actuelle des myctophidés et des poissons des glaces indique une diversité élevée et stable qui peut se traduire par de grandes populations. La structure génétique de ces espèces circumpolaires est faible, ce qui s'explique par l'influence homogénéisante des courants circumpolaires.



© Anton Van de Putte



Gymnodraco acuticeps
© Anton Van de Putte

En revanche, les caractéristiques biologiques spécifiques et des phénomènes de faible ampleur créent des patrons locaux propres aux espèces. Certains éléments portent à croire que les espèces côtières forment des populations plus fermées que les espèces de haute mer, ce qui correspond aux observations réalisées partout dans le monde. À l'échelle régionale, les premières analyses montrent que les populations dans la région de la Péninsule Antarctique se distinguent de celles du reste de l'Océan Austral. En analogie avec les études réalisées dans l'hémisphère nord, on s'attend à des patrons de population subtils qui doivent parfois être ramenés à l'adaptation aux conditions locales. Étant donné les changements climatiques actuels, la capacité d'adaptation des espèces antarctiques est justement mise à rude épreuve.



Paradiplospinus gracilis
© Anton Van de Putte

L'écosystème de l'Océan Austral subit d'importants changements en raison de l'influence humaine. Ainsi, le déclin des populations de phoques au début du siècle précédent, suivis par – dans l'ordre – les grands cétacés, les petits cétacés, certains poissons et, récemment, le krill, perturbe fortement l'écosystème et soulève des questions sur la durabilité de l'exploitation. Nous sommes face à d'immenses défis en termes de gestion. La KU Leuven utilise son expertise biologique pour contribuer à la préservation de la nature dans deux domaines : l'identification et la traçabilité des poissons et des produits piscicoles, et l'aménagement spatial à des fins de préservation de la nature ('Spatial Conservation Planning'). Comme nous l'avons mentionné, les techniques moléculaires, connues sous le nom de barcoding d'ADN, permettent d'identifier les poissons et les produits piscicoles de manière extrêmement fiable. Les dernières évolutions de la génétique moléculaire permettent aujourd'hui de déterminer l'origine d'un poisson ou d'un produit piscicole. Alors que cette nouvelle technique concerne actuellement une dizaine d'espèces économiques, elle sera à l'avenir étendue à un plus large éventail de poissons, y compris, peut-être, aux espèces antarctiques. Des informations génétiques spatio-temporelles détaillées permettent d'évaluer deux paramètres importants : la taille efficace de la population et la connectivité des organismes. La taille efficace de la population, qui permet de mesurer le nombre d'individus participant réellement à la reproduction, est bien inférieure à la taille comptée de la population. La connectivité concerne la mesure dans laquelle les organismes utilisent leur environnement au cours de leur vie. Il s'agit d'informations cruciales pour déterminer la surface, la structure et l'espacement des zones gérées afin d'éviter la fragmentation des zones d'habitat d'espèces marines. Une étude ultérieure fournit la preuve convaincante que les zones de repos garantissent la continuité des populations, des espèces, des communautés et des écosystèmes à l'échelle écologique et évolutive.

Les auteurs

Filip A.M. Volckaert est rattaché au Laboratoire de Biodiversité et de Génomique Evolutive de la KU Leuven.

Anton P. Van de Putte est rattaché à l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique.

Le sommeil pendant la plus longue nuit terrestre

Du projet de suivi du sommeil pendant la construction de la station Princesse Élisabeth au sommeil dans les stations d'hivernage



Pourquoi étudier le sommeil en Antarctique ?

Les troubles du sommeil constituent le problème de santé tant physique que psychologique le plus fréquent pendant les expéditions dans l'Antarctique (Palinkas, 2000). Les raisons sont multiples, mais la plus importante est l'absence de photopériode normale pendant la moitié de l'année. Pendant l'été antarctique, le jour polaire et l'absence de nuit perturbent notre horloge biologique qui ne perçoit pas de signal 'nuit', tandis qu'on observe le contraire pendant l'hiver antarctique : la nuit permanente et l'absence de lumière solaire provoquent des modifications de nos rythmes circadiens, tel un décalage horaire persistant.

Deux facteurs caractéristiques de l'hivernage en Antarctique, à savoir l'absence prolongée de lumière et le confinement de longue durée, influencent habituellement le sommeil. Dans la littérature scientifique, on retrouve régulièrement des mentions de troubles du sommeil lors des mois d'hiver dans les régions antarctiques. Une étude de Bhargava *et al.* (2000) indiquait que les problèmes de sommeil subjectifs, et plus précisément des difficultés d'endormissement, étaient plus forts au milieu de l'hiver (juin) qu'au début de l'hiver (mars), à la fin de l'hiver (septembre) et en été (décembre, janvier). Dans une étude à grande échelle (Palinkas *et al.*, 2000) réalisée à l'aide d'un questionnaire soumis à 91 sujets passant l'hiver dans les stations de recherche, l'exposition à l'obscurité totale, selon la latitude de la station, était significativement associée au nombre total d'heures de sommeil, à la durée de la plus longue période de sommeil, à l'heure du début du sommeil et à la qualité du sommeil. Néanmoins, les paramètres du sommeil restaient stables sur toute la période hivernale de mars à octobre. Bien que la présence de troubles du sommeil pendant l'hivernage fasse l'objet d'un large consensus, les études approfondies sur la physiologie du sommeil en Antarctique sont relativement peu nombreuses. Il est par conséquent assez difficile de cerner les mécanismes conduisant aux troubles du sommeil dans les régions polaires. Il a été suggéré que les activités physiques limitées, les efforts réduits et la diminution de la fatigue pouvaient entraîner des problèmes d'endormissement ou de maintien du sommeil, mais la désynchronisation entre le rythme des systèmes physiologiques importants et le rythme sommeil-veille peut être un facteur plus décisif encore (Bhargava *et al.*, 2000). La qualité et l'organisation temporelle du sommeil sont surtout déterminées par trois facteurs : premièrement, le processus S, ou régulation homéostatique du sommeil, dépend de la durée de la phase de veille ou de sommeil précédente, mais aussi de l'exercice physique, qui augmente le besoin de récupération. Plus on reste éveillé longtemps ou plus la période de sommeil précédente a été courte, plus le processus S et la tendance au sommeil seront élevés. Pendant le sommeil, le processus S diminue progressivement et la tendance à la veille augmente. Deuxièmement, notre horloge biologique, située dans le noyau suprachiasmatique de l'hypothalamus, contrôle le composant circadien de notre système de régulation sommeil-veille ou processus C, qui est responsable des variations diurnes entre la

tendance au sommeil et la vigilance sur une période de 24 heures (Borbély, 1982). Enfin, le stress et les stimulations ont une incidence majeure sur la régulation sommeil-veille, car plus les stimulations sont fortes, plus la tendance au sommeil diminue (De Valck *et al.*, 2003).

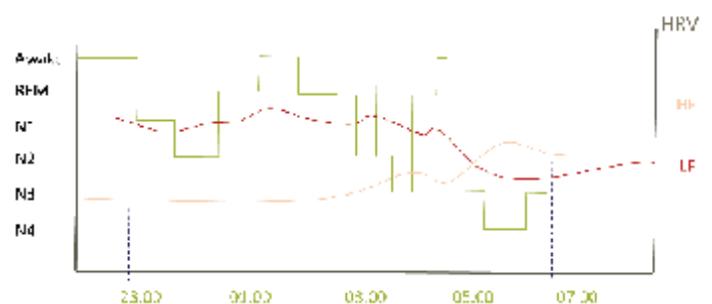
Un sommeil perturbé peut avoir des conséquences importantes sur le bien-être, la santé et la sécurité opérationnelle.

Le projet 'Antarctic Sleep Monitoring' (ASMo)

L'Antarctique est ce que l'on appelle un environnement analogue pour toutes les recherches liées à l'espace : c'est le cadre idéal pour étudier les caractéristiques uniques des vols spatiaux afin de mieux comprendre les différents effets de cet environnement présentant de 'multiples facteurs de stress'. L'un des aspects fondamentaux que partagent l'Antarctique et l'espace est l'absence de 'Zeitgebers', ou de synchroniseurs externes (comme la lumière), qui synchronisent notre horloge biologique interne avec le temps externe. Il convient de relier cet élément au fait que l'un des troubles dont les participants aux expéditions antarctiques précédentes se sont le plus plaint était la perturbation du sommeil, que ce soit lors de séjours estivaux ou hivernaux. Le projet ASMo a étudié le sommeil, la régulation des états de sommeil et de veille, les rythmes circadiens, l'activité physique, l'humeur et la capacité d'attention pendant deux expéditions estivales, les expéditions BELARE (Belgian Antarctic Research Expedition) de 2007-2008 et de 2008-2009 (Pattyn *et al.*, 2009; 2011).

En l'espace de deux ans, 30 sujets ont été étudiés à l'aide de l'actigraphie, de la polysomnographie, de tests de l'attention ainsi que de contrôles du cortisol et de la mélatonine. Les données ont montré une faible efficacité et une forte fragmentation du sommeil, ce qui correspondait aux évaluations subjectives des participants. Par ailleurs, on a noté une forte corrélation entre l'efficacité du sommeil et les dépenses énergétiques actives, ce qui indique que l'exercice est une contre-mesure non pharmacologique potentielle contre ces troubles du sommeil. Outre la forte fragmentation du sommeil, aussi bien subjective qu'objective, on a observé une importante diminution du sommeil lent profond (SLP) et une augmentation du sommeil paradoxal. Par ailleurs, le SLP se produisait en fin

* Fictive « mean » hypnogram



Results: Ultradian rhythm

de nuit, et non au début. L'activation autonome a montré une variation simultanée, avec une proportion élevée de l'activité basse fréquence de la variabilité du rythme cardiaque, et une apparition retardée de la composante à haute fréquence. La rythmicité du cortisol et les concentrations sériques étaient préservées, et les profils de sécrétion étaient extrêmement synchronisés parmi les participants. La sécrétion de mélatonine a en revanche montré un retard de phase important, aucune sécrétion ne démarrant avant minuit avec des valeurs maximales à 6 heures environ.

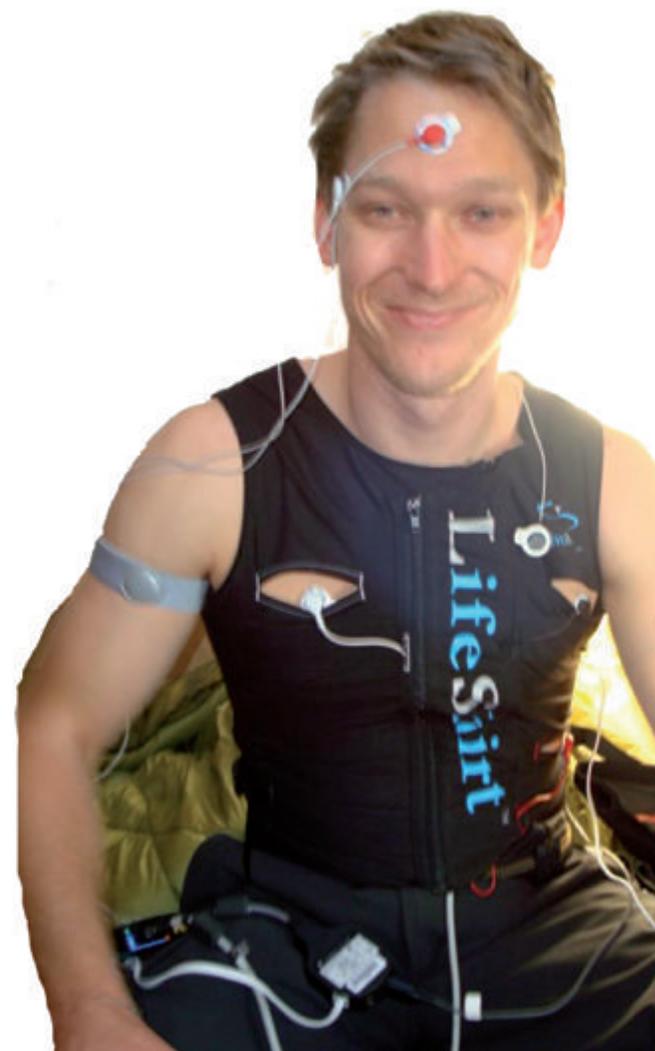
Les résultats de ce projet ont ainsi montré une dissociation complète des profils de sécrétion du cortisol et de la mélatonine. La phase retardée et diminuée du SLP pourrait s'expliquer par le retard de phase de la sécrétion de mélatonine. La régulation autonome modifiée est liée au cycle perturbé des phases de sommeil. Ces résultats laissent penser que le cortisol et la mélatonine sont régulés par deux oscillateurs distincts. La mélatonine semble ainsi être plus sensible à la photopériode et le cortisol plus sensible à l'organisation temporelle sociale. En ce qui concerne les conséquences de ces perturbations, on a observé un surprenant maintien de l'humeur, les scores de ces sous-groupes négatifs du profil des états d'humeur étaient plus faibles que ceux d'un groupe de contrôle, ce que nous avons attribué à l'effet de l'exposition continue à une lumière vive. En ce qui concerne les performances, le test psychomoteur de la vigilance a permis de mesurer des troubles graves de l'attention, avec des résultats équivalents à ceux de 5 nuits consécutives de privation partielle de sommeil.

COGNIPOLE et ESCOM : le projet Neuropole

Nous appuyant sur les résultats qui viennent d'être résumés, nous avons décidé d'axer nos travaux sur trois aspects qui avaient soulevé des interrogations :

- Mesures similaires pendant un hivernage, afin de comparer les valeurs d'été et d'hiver.
- Utilisation de l'exercice physique comme intervention tout au long de l'hivernage, afin d'évaluer s'il pouvait servir de contre-mesure efficace.
- Examen plus approfondi des performances cognitives, en se concentrant plus précisément sur les fonctions exécutives. Cet élément se fondait sur les réactions des participants qui indiquaient se sentir moins efficaces intellectuellement pendant leur séjour. Les fonctions exécutives sont parfois appelées 'fonctions cognitives supérieures' : notre faculté de réaliser plusieurs choses à la fois, de prévoir, d'ignorer des informations non pertinentes et de sélectionner des informations utiles dans notre environnement, ainsi que notre perception du temps. Nous avons participé à deux projets de l'Agence spatiale européenne (ESA) en nous basant sur ces questions.

L'ESA finance en effet la recherche antarctique dans la station franco-italienne Concordia, en raison des similitudes de cet environnement avec les conditions d'un vol spatial de longue durée. De fait, pour réussir la préparation des vols spatiaux de longue durée, comme les voyages d'exploration à venir, il est nécessaire de tenir compte de plusieurs éléments. L'environnement spatial présente de nombreux facteurs de stress qui peuvent avoir des incidences sur la santé, tant physiologique que psychologique. On les regroupe généralement en quatre catégories : l'environnement, l'habitat, la mission et la situation sociale. Alors que l'environnement et l'habitat sont des facteurs nécessitant une adaptation passive des astronautes (c'est-à-dire qu'il n'y a aucun moyen direct de modifier ces facteurs, la seule possibilité consiste à modifier la façon dont on y fait face), les variables relatives à la mission et à la situation sociale dépendent en grande partie de la gestion, de la personnalité et des interactions humaines. Les variables relatives à la mission pouvant avoir des incidences sur la santé et le bien-être concernent essentiellement les variations de la charge de travail : de très élevée et exigeante à faible et monotone. La situation sociale est tout à fait spécifique à l'environnement spatial, car il s'agit de vivre pendant plusieurs mois, voire plusieurs années, avec un équipage restreint que l'on n'a pas choisi, en maintenant des communications réduites avec la Terre. Ces facteurs de stress sont bien connus des personnes habituées à l'environnement antarctique, car cet environnement offre pendant l'hivernage un cadre tout à fait similaire.



Sebastian Falkenberg

Le projet ESCOM (l'effet de l'exercice physique sur la régulation du sommeil, les performances cognitives, la santé mentale et l'humeur) est une collaboration de l'Institut flamand pour la recherche technologique (VITO), l'université du sport allemande (Deutsche Sporthochschule Köln), l'Ecole Royale Militaire et la Vrije Universiteit Brussel. Ce projet porte sur l'effet de l'exercice physique comme contre-mesure potentielle aux effets néfastes éprouvés pendant l'hivernage. Les expériences prouvent que l'exercice physique a un effet positif sur le fonctionnement du cerveau, notamment sur la circulation sanguine cérébrale, la cognition, la neurogénèse, la sécrétion de neurotransmetteurs et l'humeur. Nos recherches précédentes, réalisées dans le cadre de l'étude MARS105, ont montré un effet positif de l'exercice physique sur la diminution des fonctions corticales du cerveau et de l'humeur induite par l'isolation. L'expression rythmique des clock-genes (gènes-horloges) dans les tissus, relevée lors de recherches précédentes, suggère qu'il existe des horloges fonctionnelles en dehors du stimulateur circadien central qu'est le cerveau. L'incidence des différentes conditions (confinement, exercice physique, etc.) sur l'expression des gènes circadiens et le lien avec la physiologie et la psychologie sont en grande partie inconnus. L'analyse de l'expression de gènes a été utilisée pour la première fois en association avec des paramètres comportementaux lors du projet BEACON (évaluation des biomarqueurs d'adaptation

comportementale et de santé lors d'un séjour isolé dans la station Concordia) pendant l'hivernage 2009-2010. Le projet ESCOM vise à étudier le lien entre le sommeil, les rythmes circadiens et l'activité physique, ainsi que les effets de l'intervention de l'exercice physique actif sur l'humeur et les performances dans une mission en Antarctique. Ce projet permettra de mieux comprendre les points suivants :

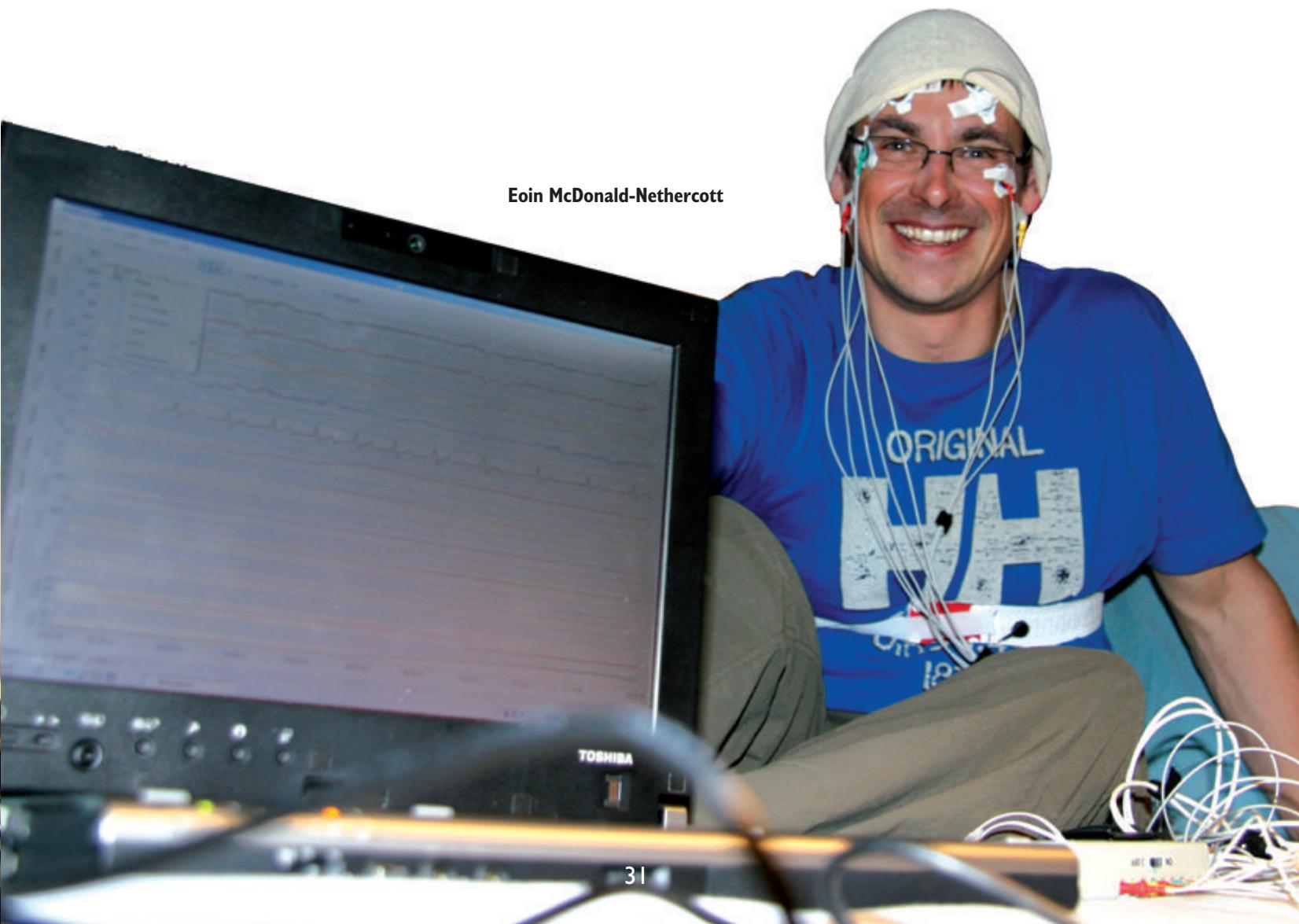
(1) La régulation sommeil-veille est altérée en été comme en hiver, même si les mécanismes mis en œuvre sont différents.
(2) L'exercice physique a un effet positif sur la qualité du sommeil et représente une contre-mesure potentielle à la désynchronisation circadienne.

(3) L'exercice physique pourrait neutraliser la perturbation potentielle des performances cognitives et améliorer l'humeur générale.

(4) Il est possible de mesurer une régulation sommeil-veille altérée à l'aide d'une analyse de l'expression des gènes des cellules du sang. Les effets de l'exercice physique sur la régulation du sommeil et les performances cognitives se traduiront également au niveau moléculaire.

Cette étude sera très utile pour améliorer la santé et le bien-être dans des environnements extrêmes comme l'espace ou l'Antarctique et offrira un avantage opérationnel. Les résultats aideront également à communiquer les effets positifs de l'exercice physique à l'ensemble de la population.

Eoin McDonald-Nethercott



Le projet COGNIPOLE (cartographie de la cognition pendant un hivernage en Antarctique) est une collaboration de l'Académie hongroise des Sciences, l'université de Rome La Sapienza, l'Ecole Royale Militaire et la Vrije Universiteit Brussel. Ce projet vise à réaliser une cartographie approfondie du fonctionnement cognitif, au moyen de différents tests cognitifs, mais aussi de mesures de l'activité du cerveau par des EEG et des potentiels évoqués cognitifs. En effet, les performances du cerveau sont en grande partie déterminées par le sommeil et le rythme circadien. Les rapports de la recherche en chronobiologie menée en Antarctique et nos résultats du projet ASMo laissent penser qu'il existe une désynchronisation entre le sommeil et les rythmes circadiens, un peu comme un décalage horaire, pendant la période de l'hivernage. Les résultats de notre expérience précédente en Antarctique montrent une dissociation entre la sécrétion rythmique de cortisol et de mélatonine ; par ailleurs, les performances au test psychomoteur de la vigilance étaient gravement réduites. Ces résultats laissent penser que, pour la capacité d'attention, le rythme circadien préservé du cortisol, et donc le fonctionnement normal du système de 'veille', ne peut neutraliser le système 'sommeil' perturbé, qui se manifeste par le retard de la sécrétion de mélatonine et du sommeil lent profond. À l'instar des résultats sur l'interaction entre l'humeur et la qualité du sommeil – il a été démontré que les changements d'humeur lors de l'hiver austral étaient précédés par des changements des caractéristiques du sommeil et que ces changements d'humeur affectaient la qualité du sommeil pendant la période de l'hivernage (Palinkas *et al.*, 2000) –, nous étudions donc l'effet de la qualité du sommeil sur les performances cognitives. Étant donné que les recherches précédentes ont également montré que les cycles circadiens

en libre cours menaient à différents cycles de performances, la mesure simultanée de la qualité du sommeil, du rythme circadien et des performances pourrait permettre d'éclaircir plus en détail les interactions existantes entre les troubles potentiels de ces systèmes. Le projet COGNIPOLE vise à identifier les variations des performances cognitives pendant l'hivernage. Il pourrait s'agir de mesurer les diminutions, mais aussi les changements stratégiques du contrôle cognitif, qui pourraient avoir une fonction d'adaptation. L'évaluation de la qualité du sommeil et des rythmes circadiens permettra d'identifier si les troubles décrits précédemment se répètent ici et comment les mettre en lien avec la qualité des performances cognitives.

Les projets COGNIPOLE et ESCOM (désignés ensemble sous l'appellation NEUROPOLE) sont en cours dans la station Concordia. Grâce à la collaboration avec l'Institut Polaire Paul-Émile Victor en France, l'étude COGNIPOLE a également été mise en œuvre dans la station côtière française Dumont d'Urville afin de fournir des données supplémentaires sur l'hivernage au niveau de la mer, ce qui est un contrôle scientifique important vu que Concordia se situe à une altitude équivalente (en termes de pression atmosphérique) de 3800 m.

En conclusion, ces projets ne sont pas seulement importants pour la santé et le bien-être des équipages déployés pour des missions d'hivernage en Antarctique, ou pour la préparation de vols habités d'exploration dans l'espace. Le laboratoire naturel que nous offre l'Antarctique permet d'étudier de manière unique l'adaptation psychophysiological à ces conditions extrêmes, ce qui permet des résultats novateurs nous offrant une compréhension plus étendue de notre fonctionnement.



L'auteur

Nathalie Pattyn est professeur au Departement voor Experimentele en Toegepaste Psychologie-Onderzoekseenheid Biologische Psychologie de la Vrije Universiteit Brussel et professeur au Département LIFE-Unité de Recherche VIPER de l'Académie royale militaire.

Plus

nathalie.pattyn@rma.ac.be
<http://vipер.rma.ac.be/>



Benthos du plateau antarctique dans des conditions d'englacement contrastées

Critères d'évaluation des effets du changement climatique :
la contribution des échinides



Photo
ANDEEP 3 Expedition
2004/2005

La Péninsule Antarctique est soumise à un réchauffement climatique depuis la fin des années 1950. Les effondrements des plateformes glaciaires comme celles de Larsen A (1995) et B (2002) à l'est de la péninsule en sont les manifestations les plus visibles. Ces sites fortement perturbés ainsi que les régions soumises aux variations 'naturelles' des conditions d'englacement offrent l'occasion de caractériser les processus de colonisation susceptibles de se produire dans un avenir proche suite au changement global.

Environ 10 % des espèces d'échinides vivent au sud du Front polaire, ce qui fait de l'Océan Austral une région riche en échinides par rapport à la richesse moyenne des autres océans. Les échinides antarctiques se répartissent en neuf familles et sept ordres. Ils présentent différents comportements alimentaires (omnivores, détritivores, carnivores ou phytophages/algivores) et différents modes de reproduction (développement indirect avec larves planctoniques, développement direct avec embryons et juvéniles incubés par les femelles). Appartenant à de nombreuses guildes écologiques, les échinides sont des membres récurrents des communautés benthiques dans l'ensemble de l'Océan Austral ; on s'attend à ce qu'ils participent à la colonisation initiale et aux successions écologiques des zones perturbées par le vêlage des icebergs.



Echinoïde (cidaroïde) et les juvéniles qu'il incubait (vue orale).



Le contenu du chalut Agassiz est déversé sur le pont.



Le 'Polarstern' en Mer de Weddell (Expedition ANTXXIX/3 2013)



Chalut Agassiz - détail d'une récolte (Déroit de Bransfield).



Chalut Agassiz - Scientifiques au travail, échantillonnant du benthos.

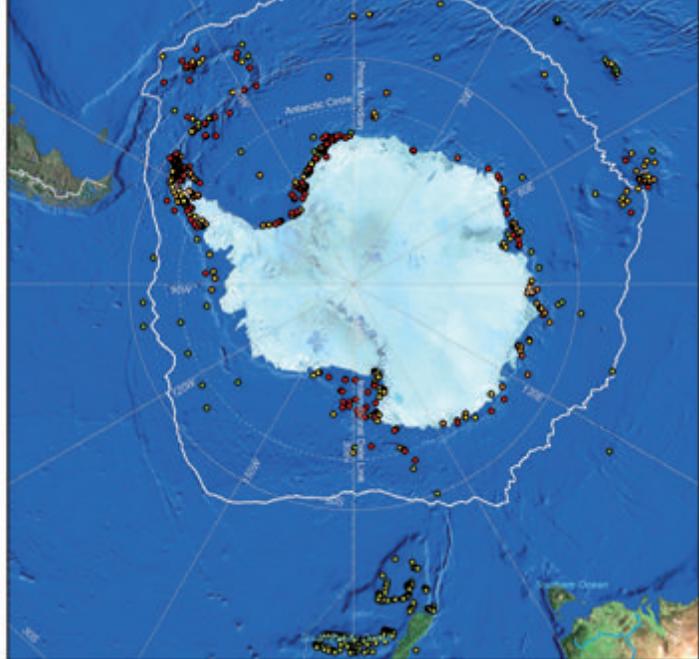


Illustration 1 :
Distribution des familles d'échinides dans l'océan Austral.

Source : biodiversity.aq

Les expéditions de l'AWI ANTXXIII-8 en 2007 et ANTXXIX/3 en 2013, qui ont respectivement exploré le plateau continental dans les baies de Larsen A/B et aux alentours de la Péninsule Antarctique, ont fourni des données environnementales intégrées ainsi que des échantillons de benthos dans des zones présentant des conditions d'englacement contrastées. L'expédition ANT XXIII-8 en particulier a permis de suivre les processus de colonisation de régions libérées par la débâcle des plateformes glaciaires Larsen. L'expédition ANT XXIX/3 s'est intéressée à l'effet de l'englacement sur les communautés benthiques en comparant trois régions : la Mer de Weddell à l'est de la Péninsule Antarctique (englacement important avec fluctuations 'imprévisibles'), le Détroit de Bransfield, à l'ouest de la Péninsule (englacement important avec fluctuations saisonnières) et le Passage de Drake au nord des Iles South Shetland (peu ou pas d'englacement).

Dans les zones de Larsen A/B, trois espèces d'échinides 'pionnières' ont été enregistrées en 2007 (*Sterechinus antarcticus*, *S. neumayeri*, *Notocidaris mortenseni*). Il s'agit d'espèces à développement larvaire pélagique et détritivores, c'est-à-dire présentant des aptitudes colonisatrices particulières et 'peu exigeantes' sur le plan trophique. En se nourrissant pour l'essentiel de sédiments, ces espèces présentent un comportement alimentaire inhabituel : ailleurs, elles sont en effet carnivores ou algivores opportunistes. L'expédition ANT XXIX/3 s'est concentrée sur la structure et le fonctionnement des communautés benthiques en réponse à l'apport nutritif modulé par les conditions d'englacement et les masses d'eau. Comme Norkko et ses collaborateurs le soulignent¹ : The potential for receding

sea ice associated with climate change highlights the need to develop a predictive understanding of how marine ecosystems will change with change of sea ice distribution and thickness. This requires a good understanding of ecosystem structure and function and how it relates to environmental drivers.¹ Dans ce contexte, notre travail sur les échinides vise essentiellement (1) à déterminer leur patron de diversité et leur contribution aux communautés locales, (2) à caractériser leur flexibilité trophique et physiologique en fonction des conditions d'englacement et, donc, de disponibilité de la nourriture. Le point 1 permettra d'identifier des espèces et leur autoécologie tout en complétant la base de données des échinides (biodiversity.aq²) (Illustration 1). Le point 2 documentera la façon dont les échinides font face aux disponibilités des ressources trophiques et explorera l'éventuelle adaptation de leur régime alimentaire selon les gradients environnementaux. L'impact sur leur métabolisme et sur leur aptitude à contrôler leur équilibre acide-base sera évalué ; il s'agit là d'un aspect revêtant une importance cruciale dans le contexte de l'acidification actuelle de l'Océan Austral. L'approche dans son ensemble permettra de mieux comprendre leurs intervalles de tolérance face à ces facteurs de stress.



Illustration 2 :
Piquants d'un oursin cidaroïde portant des holothuries et des bivalves, Expédition ANT XXIX/3.
(Photo : Chantal De Ridder, ULB)

Par ailleurs, les piquants d'un groupe d'oursins, les cidaroïdes, offrent des microhabitats à un large éventail d'organismes sessiles. Ils peuvent par là contribuer à la biodiversité locale (Illustration 2). Cette contribution a été examinée sur les sites de Larsen A/B où la faune sessile fixée sur les piquants de *N. mortenseni* présentait une diversité 'inhabituelle' puisque plus de 80 % des épibiontes étaient identiques à ceux des communautés sessiles présentes sur les fonds marins environnants, ce qui indique une absence de spécificité. Ce constat contraste fortement avec la situation observée en dehors des zones Larsen où la faune sessile fixée sur les cidaroïdes était essentiellement spécifique. Les spécimens recueillis lors de l'expédition ANT XXIX/3 permettront de comparer les communautés ectosymbiotiques issues d'environnements abiotiques et biotiques contrastés. Par ailleurs, cela permettra d'identifier les liens qui unissent les communautés ectosymbiotiques et épibenthiques et de mettre en avant la contribution des ectosymbiontes à la biodiversité locale.

Les auteurs

Chantal De Ridder, Philippe Dubois, Isabelle George et Bruno Danis font partie du Laboratoire de Biologie marine à l'Université Libre de Bruxelles. Bruno David (CNRS) et Thomas Saucède font partie du laboratoire Biogéosciences à l'Université de Bourgogne.

¹ Norkko, A., S. F. Thrush, V. J. Cummings M. M. Gibbs, N. L. Andrew en J. Norkko, 2007. Trophic structure of coastal antarctic food webs associated with changes in sea ice and food supply. *Ecology*, 88(11): 2810–2820.

² Danis B., Van de Putte A., Youdjou N., Segers H., 2013. The Antarctic Biodiversity Information Facility. Internetpublicatie, Publication disponible en ligne à l'adresse : www.biodiversity.aq

L'expérience humaine en Antarctique : recréer l'espace sur la Terre

L'humanité a toujours été fascinée par l'espace. Grâce aux observations et aux missions spatiales, nous en savons toujours plus sur les conditions extrêmes qui règnent en dehors de l'atmosphère terrestre. Nous assistons actuellement à un regain d'intérêt pour les missions interplanétaires ou lunaires habitées. Il est toutefois important de tenir compte des difficultés que ces voyages dans l'espace impliquent pour la santé. Le Centre d'étude belge de l'énergie nucléaire SCK•CEN joue un rôle important dans la recherche spatiale, et notamment dans le domaine de la biologie humaine dans l'espace.



Risques sanitaires des voyages dans l'espace : changements immunitaires

Il ne fait pas de doute, à ce jour, qu'un séjour dans l'espace affecte l'organisme humain. L'exposition à des radiations accrues et la microgravité, mais aussi d'autres facteurs de stress comme le fait de vivre dans un environnement isolé, la forte charge de travail ou les perturbations du sommeil et des habitudes alimentaires peuvent causer des problèmes de santé. On considère que ce stress de nature physique et psychologique a une incidence majeure sur la santé et la physiologie humaines. Le système immunitaire est l'un des systèmes physiologiques affectés par les vols spatiaux. Il s'agit d'un 'organe réparti', pesant au total 4 kg et constitué d'un réseau de cellules, tissus et organes qui fonctionnent en synergie pour protéger l'organisme contre les substances ou les micro-organismes étrangers. Une baisse de l'immunité peut entraîner une infection chronique, une maladie auto-immune et le développement d'un cancer. Plusieurs études ont démontré que l'immunosuppression induite par les vols spatiaux était reconnue comme un obstacle majeur aux missions spatiales de longue durée. On ne connaît pas à ce jour la nature exacte de ce dérèglement immunitaire et de plus amples recherches sont nécessaires pour en comprendre les mécanismes sous-jacents. L'exploration spatiale future contribuera à répondre à de nombreuses questions fondamentales. Toutefois, étant donné que le nombre d'expériences de vols spatiaux est limité, des plateformes de recherche sur Terre, comme la base antarctique Concordia, peuvent servir à recréer certains aspects des conditions

spatiales. Ces environnements analogues à l'espace peuvent partiellement déclencher des réponses physiologiques similaires à celles générées par l'organisme humain dans l'espace. Les informations obtenues grâce à ce type d'expériences sont utiles pour compléter les recherches sur les vols spatiaux.

La station de recherche antarctique Concordia

La station de recherche franco-italienne Concordia présente un environnement unique et exigeant : c'est l'un des endroits les plus froids, les plus sombres et les plus secs au monde. Cette station est construite sur une couche de glace à une altitude de 3 200 m dans un lieu appelé Dôme C sur le Plateau Antarctique. La station est située à plus d'un millier de kilomètres des côtes et à 600 km de toute présence humaine. Elle est donc plus éloignée que la station spatiale internationale (ISS) située en orbite à environ 400 km de la Terre. En raison de l'altitude élevée, les taux d'oxygène sont plus faibles qu'au niveau de la mer (12-13 % au lieu de 20,9 %). Cette pauvreté en oxygène est désignée par le terme d'hypoxie. Par ailleurs, le champ magnétique de la Terre est plus faible près du pôle Sud, ce qui réduit la protection contre les radiations cosmiques.



Carte montrant la situation géographique du Dôme C en Antarctique, où se situe la station Concordia.

La base Concordia est l'une des trois stations de recherche habitées à l'année sur le Plateau Antarctique. La station est inaccessible durant les mois d'hiver. L'équipe reste isolée du monde extérieur pendant une longue période et vit en autonomie totale. Par ailleurs, en hiver, la lumière du soleil est absente pendant environ trois mois.

Dans le contexte de la recherche spatiale, les missions de la base Concordia consistent généralement en un séjour prolongé (hivernage > 300 jours) dans cet environnement extrême. Les conditions de vie sont, à bien des égards, similaires à l'environnement à bord de l'ISS. Par ailleurs, l'hypoxie qui règne sur la base Concordia peut également s'avérer utile dans le contexte des futures explorations habitées et habitats spatiaux où l'on s'attend à un effet bénéfique des faibles taux d'oxygène pour surmonter certains obstacles techniques et opérationnels, ainsi que pour atténuer un certain degré de risque biologique de radiation.



Étude ESA CHOICE

Le SCK•CEN est membre d'une équipe thématique multidisciplinaire soutenue par l'Agence spatiale européenne (ESA) qui se penche sur les questions liées au stress et à l'immunité dans l'espace. En collaboration avec cette équipe thématique de l'ESA, le SCK•CEN participe à l'étude CHOICE intitulée 'Conséquences du confinement de longue durée et de l'hypoxie hypobare sur l'immunité dans l'environnement antarctique de la station Concordia'. Cette étude CHOICE a pour objectif de mieux cerner les changements immunologiques chez les individus pendant l'hivernage. À cette fin, des échantillons de sang, de salive et d'urine ont été recueillis auprès de l'équipage avant, pendant et après le confinement lors de l'hivernage. Les technologies à haut débit disponibles au SCK•CEN ont permis de suivre avec précision les changements immunitaires des échantillons de sang prélevés chez les membres de l'équipage. Des concentrations de plusieurs protéines connues pour être impliquées dans les réponses immunitaires ont été mesurées. Par ailleurs, les changements moléculaires au niveau de l'expression des gènes dans les globules blancs ont été analysés. Les résultats préliminaires démontrent qu'un confinement de longue durée au sein de la station Concordia influe sur la réponse immunitaire cellulaire des volontaires. Des études moléculaires ont montré un changement clair des profils d'expression des gènes au fil du temps. Une analyse plus approfondie de ces gènes identifiés et des possibles voies impliquées est en cours. Les résultats obtenus pourront éclairer quant aux changements immunitaires observés chez les astronautes lors des vols spatiaux.



Analyse d'échantillons © SCK-CEN



En conclusion, les plateformes de recherche sur Terre, comme la station de recherche antarctique à laquelle le SCK•CEN participe activement ou, éventuellement, la station Princesse Élisabeth à l'avenir, pourront, à terme, contribuer à déterminer les risques sanitaires associés aux conditions spatiales pour la physiologie humaine, afin d'élaborer des contre-mesures appropriées avant l'exploration spatiale de longue durée.



Des échantillons de sang ont été prélevés auprès de l'équipe d'hivernage pour l'étude CHOICE.



L'auteur

Dr Marjan Moreels est rattachée à l'Unité de recherche en Radiobiologie du Groupe d'expertise en Biologie moléculaire et cellulaire du Centre d'Etude de l'Energie nucléaire.

Remerciements

Le SCK•CEN souhaite remercier le programme Belpo/ESA/Prodex pour le soutien financier apporté à ces études, ainsi que le Dr Alexander Choukèr (Munich, Allemagne), coordinateur de l'équipe thématique de l'ESA 'Stress et immunité dans l'espace' et des études sur l'immunité en condition analogue à l'espace de la station Concordia.

Plus

www.sckcen.be

Contact: info@sckcen.be

Dr. Marjan Moreels: mmoreels@sckcen.be

Dr. Roel Quintens: rquinten@sckcen.be

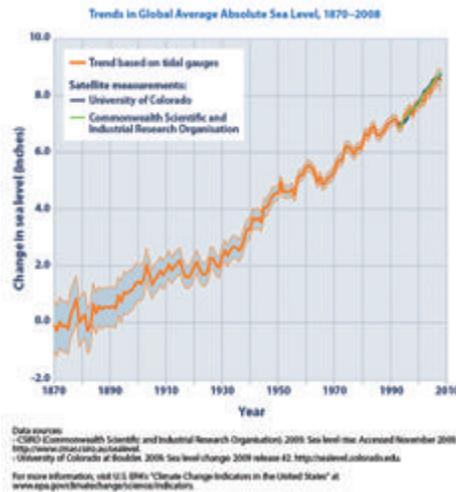
Prof. Sarah Baatout: sbaatout@sckcen.be

Ice2sea : la contribution des glaces continentales à la hausse future du niveau marin



Pourquoi la hausse du niveau marin est-elle importante ?

Depuis 1993, les scientifiques utilisent les satellites pour mesurer avec précision la hausse globale du niveau de la mer. En moyenne, cette élévation se chiffre à 3 mm par an depuis 20 ans, soit une évolution plus rapide que ce que les marégraphes de tout le XX^e siècle permettaient de prévoir. Certaines études récentes laissent penser qu'une montée totale du niveau marin de plus de 1 mètre d'ici 2100 par rapport au début de ce siècle ne peut être entièrement exclue.



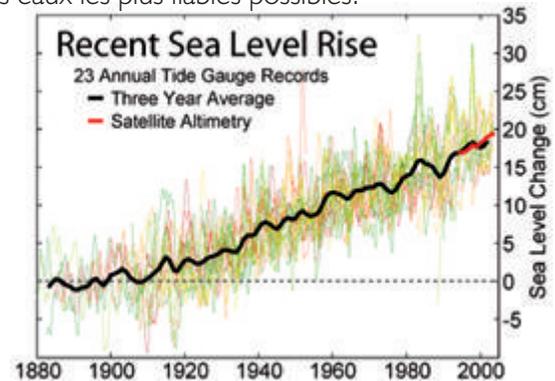
Trends in global average absolute sea level 1870-2008

La montée du niveau de la mer observée est due à trois facteurs principaux, à savoir l'expansion thermique des océans, la fonte des glaciers de montagne et, enfin, la perte de masse des calottes glaciaires (Antarctique et Groenland). Au cours des dix dernières années, les deux premiers éléments ont été chacun responsables d'environ un tiers de la hausse totale du niveau marin, tandis que les calottes glaciaires y ont contribué pour un cinquième. L'ampleur de l'expansion thermique peut être déterminée avec précision. Il subsiste toutefois de nombreux doutes concernant la contribution des calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland, qui contiennent plus de 99 % des glaces de la planète..



© Prof. David Vaughan, British Antarctic Survey

L'élévation du niveau marin constitue une menace considérable pour le monde entier, étant donné que plus de 40 % de la population mondiale vit dans un rayon de 150 km de la mer. Elle menace tout particulièrement l'Europe. Quinze pays de l'Union européenne possèdent d'importants littoraux qui seront concernés à l'avenir par l'élévation globale du niveau marin, entraînant l'inondation et l'érosion des côtes, la destruction des défenses marines naturelles, de plus fortes inondations dues aux marées de tempête, des changements de la qualité des eaux, des conséquences pour l'agriculture, etc. Il est par conséquent crucial de comprendre l'ampleur de l'élévation globale du niveau des mers au cours du XXI^e siècle (et au-delà). L'élaboration de politiques visant à protéger nos littoraux et à réduire l'impact sur les vies et les revenus des citoyens européens exige donc de disposer des projections de la montée des eaux les plus fiables possibles.



Recent Sea Level Rise

Les suites de l'AR4 du GIEC

Le quatrième rapport d'évaluation (AR4) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), publié en 2007, insistait sur le fait que les calottes glaciaires constituent l'incertitude la plus importante en termes de contribution à la hausse du niveau marin. Selon ce rapport, la compréhension des processus physiques régulant les calottes était 'trop faible pour évaluer leur probabilité ou pour fournir une estimation précise de la hausse maximale du niveau marin'. Cela a introduit un biais dans les projections de l'élévation du niveau des mers fournies dans l'AR4

Des progrès scientifiques notables ont néanmoins été réalisés depuis l'AR4 et plusieurs techniques indépendantes permettent désormais d'évaluer les changements du bilan de masse en surface des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique. La gravimétrie et l'altimétrie laser par satellite offrent aujourd'hui des informations sur les changements survenus au niveau de la masse de glace, de l'élévation de la surface et de la vitesse des glaciers à écoulement rapide. Bien qu'il soit désormais évident que le bilan massique actuel des deux grandes calottes glaciaires est négatif, il subsiste d'importantes incertitudes en ce qui concerne les chiffres absolus, qui peuvent représenter jusqu'à 100 % pour les contributions individuelles, telles que celles provenant des glaciers à écoulement rapides et de la fonte sous-glaciaire.

Vers l'AR5 du GIEC

Dans ce contexte, deux importants projets internationaux ont vu le jour et ont ouvert la voie vers le cinquième rapport d'évaluation (AR5) du GIEC, dont une première partie sera publiée fin 2013. La première initiative, intitulée SeaRISE (Sea-level Response to Ice Sheet Evolution) est un effort communautaire organisé, mené par des chercheurs américains, en vue d'estimer la valeur maximale de la contribution des calottes glaciaires à l'élévation du niveau des mers au cours des 100-200 prochaines années. Le projet SeaRISE a pour objectif de concevoir et de mettre en œuvre un ensemble d'expériences numériques à l'aide de divers modèles cryosphériques et de déterminer à la fois la contribution des plateformes de glace à la hausse du niveau des mers et les incertitudes associées.

Le second projet s'appelle ice2sea. Il s'agit d'un projet européen FP7 visant à évaluer la contribution future des glaces continentales à l'élévation du niveau des mers au cours des 200 prochaines années. Il regroupe l'expertise scientifique et opérationnelle de 23 institutions de premier plan à travers l'Europe (dont l'ULB, la VUB et l'ULg en Belgique) et se concentre sur deux composantes du niveau marin, à savoir la perte de masse des calottes glaciaires et la fonte des glaciers de montagne. Bien que la montée du niveau des mers soit également due à l'expansion thermique des océans et qu'elle dépende de l'extraction des eaux souterraines et des bassins de retenue, ces éléments ne relèvent pas du champ d'activités d'ice2sea.

Afin de produire des projections plus fiables concernant la hausse du niveau des mers due aux glaces continentales, ice2sea s'est donné pour objectif de comprendre les processus glaciaires fondamentaux qui contrôlent le comportement des glaciers et des calottes glaciaires au moyen de nouveaux modèles qui prennent en compte la décharge d'icebergs, les processus se déroulant au sein des calottes marines et le glissement basal des calottes. Par ailleurs, les changements réels des masses de glace continentales sont suivis par altimétrie satellitaire (par ex. Ice, Cloud, and land Elevation Satellite, ICESat) et gravimétrie (par ex. Gravity Recovery And Climate Experiment, GRACE). Ces mesures satellitaires sont également utilisées pour valider les différents modèles. Ce projet permet donc d'élaborer des techniques plus fiables pour prédire la réponse des calottes glaciaires et des glaciers aux changements environnementaux.

Contribution des glaces continentales à la hausse future du niveau marin

Les chercheurs d'ice2sea ont d'ores et déjà fait état de plusieurs résultats importants ; ils ont notamment découvert que les courants océaniques chauds étaient la principale cause de la perte de glace récente de la calotte antarctique. En utilisant les données du satellite ICESat pour mesurer les modifications de l'épaisseur de glace flottante, Pritchard *et al.* (2012) ont révélé que 20 des 54 plateformes de glace flottante de l'Antarctique – situées, pour la plupart, en Antarctique de l'Ouest – s'amenuisent en raison de la pénétration de courants chauds par-dessous, ce qui mène à une accélération des glaciers émissaires continentaux, qui déversent actuellement davantage de glace dans la mer et contribuent ainsi à l'élévation du niveau marin.

Par ailleurs, des projections fondées sur des modèles océaniques utilisant des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre futures ont montré qu'une importante hausse de la fonte des glaces dans une région inattendue de l'Antarctique, la plateforme de glace de Filchner-Ronne, au cours de la seconde moitié de ce siècle était probable (Hellmer *et al.*, 2012). Elle pourrait être causée par une réorientation du courant côtier vers cette plateforme de glace, amenant ainsi une eau d'une température supérieure de 2 degrés Celsius à la température actuelle. Les conséquences seraient considérables, étant donné que la projection modélisée de perte de glace à la base de la plateforme de glace de Filchner-Ronne représente 80 % du bilan de masse en surface actuel de l'Antarctique. Ces projections sont le fruit de l'amélioration des modèles au cours des dernières années.

Les projections concernant l'avenir des calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland dépendent en grande partie d'une évaluation précise du déséquilibre en masse actuel de ces calottes, et chaque méthode visant cet objectif a ses avantages et ses inconvénients. L'exercice d'intercomparaison 'Ice Sheet Mass Balance Intercomparison Exercise (IMBIE)' est le fruit d'une collaboration entre 47 chercheurs issus de 26 laboratoires qui ont produit l'évaluation la plus précise de la perte de glace actuelle (Shepherd *et al.*, 2012). Ils ont montré que les calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland avaient contribué pour environ un cinquième (11 mm) à l'élévation du niveau des mers depuis 1992, les deux tiers de cette perte de

glace provenant du Groenland et un tiers de l'Antarctique. Il n'a toutefois pas été possible de déterminer avec certitude si la calotte glaciaire de l'Antarctique de l'Est gagnait ou perdait de la masse.

Les décideurs politiques ont besoin de projections de la montée maximale du niveau des mers délivrées par les scientifiques, car ils doivent tenir compte des phénomènes climatiques extrêmes dans leur planification. Là où la protection des richesses côtières relève de la responsabilité des autorités locales, voire des individus, l'accent peut être placé sur la mise en place d'un plan de lutte contre la montée la plus probable du niveau des mers. C'est la raison pour laquelle ice2sea entend communiquer ses projections de hausse du niveau marin à la fois probables et maximales et donner ainsi une fourchette d'incertitude pour chacune.

Les auteurs

Les auteurs sont tous partenaires du projet européen FP7 ice2sea. David Docquier (Laboratoire de Glaciologie, ULB, Bruxelles) est un jeune scientifique membre du comité directeur d'ice2sea. Frank Pattyn (Laboratoire de Glaciologie, ULB, Bruxelles) est responsable du Work Package 'Key glacial processes'. Xavier Fettweis (Laboratoire de Climatologie, ULg, Liège) est partenaire dans le Work Package 'High resolution atmosphere models'. Philippe Huybrechts (Earth System Sciences & Département Géographie, VUB, Bruxelles) a mené des travaux de modélisation à grande échelle afin de produire des projections du niveau des mers provenant des calottes glaciaires au cours des XXI^e et XXII^e siècles. De plus amples informations sur le programme sont disponibles à l'adresse www.ice2sea.eu. Philippe Huybrechts est également chargé de la révision du chapitre sur la cryosphère de l'AR5 du GIEC.

Références

- Hellmer *et al.* (2012). Twenty-first-century warming of a large Antarctic ice-shelf cavity by a redirected coastal current, *Nature* 485: 225-228, doi: 10.1038/nature11064.
- Pritchard *et al.* (2012). Antarctic ice-sheet loss driven by basal melting of ice shelves, *Nature* 484: 502-505, doi: 10.1038/nature10968.
- Shepherd *et al.* (2012). A reconciled estimate of ice sheet mass balance. *Science* 338 (6111): 1183-1189, doi: 10.1126/science.1228102.

Loin des yeux, loin du cœur?

Et si on prenait en compte la diversité microbienne
dans les stratégies de conservation
en Antarctique ?

Karolien Peeters prenant des échantillons
à Brattnipane (Sør Rondane Mountains).
Photo A. Wilmotte

Introduction

L'exploration de la diversité microbienne dans les lacs et milieux terrestres antarctiques par des équipes de chercheurs belges a révélé un grand nombre d'espèces nouvelles, un degré inattendu d'endémisme et l'influence importante de l'histoire glaciaire et tectonique sur la diversité actuelle des microorganismes. Ces résultats justifient plus de considération pour la diversité microbienne dans les stratégies de conservation.



Croûte microbienne et lichens noirs sur le nunatak d'Utsteinen.
Photo A. Wilmotte

La diversité microbienne et la conservation

Quand le Protocole au Traité sur l'Antarctique relatif à la protection de l'environnement a été signé en 1991, la connaissance de la biodiversité des organismes microscopiques ou de petite taille était restreinte et les méthodes moléculaires de détermination de la biodiversité commençaient seulement à se développer. C'est pourquoi la mention des taxons à protéger n'inclut pas les espèces microbiennes, bien que les lichens, champignons et algues soient listés comme 'plantes' dans l'Annexe II. Le réseau des 'Zones Spécialement Protégées de l'Antarctique' (ZSPA) qui est actuellement développé par le Comité de Protection Environnementale a pour but de protéger 'des valeurs environnementales, scientifiques, historiques ou esthétiques exceptionnelles, ou l'état sauvage de la nature, ou toute combinaison de ces valeurs, ainsi que toute recherche scientifique en cours ou programmée' (www.ats.aq/documents/recatt/Att004_f.pdf).

Observation de taxons endémiques dans tous les groupes microbiens étudiés

Dans le cadre des projets BeISPO ANTAR-IMPACT, BELDIVA et AMBIO, quatre équipes belges ont étudié la diversité cultivée et non-cultivée des diatomées, algues vertes, bactéries hétérotrophes et cyanobactéries dans les lacs antarctiques et les milieux terrestres en utilisant des méthodes modernes et les concepts taxonomiques les plus récents pour l'identification et la délimitation des espèces.

Les flores de diatomées diffèrent significativement entre l'Antarctique continental, l'Antarctique maritime ou les îles subantarctiques. Cette forte biorégionalisation et la proportion d'endémisme peuvent être expliquées en partie par les variations des conditions environnementales locales mais reflètent aussi l'isolation géographique et l'histoire climatique et géologique de ces régions. Certaines régions ont été des refuges pendant les glaciations passées et contiennent une flore vestigiale, qui est composée d'une combinaison d'endémiques antarctiques (incluant de nouvelles espèces), de taxons qui habitent des régions alpines sur d'autres continents et de complexes d'espèces apparemment cosmopolites. Cependant, les analyses phylogénétiques moléculaires ont révélé que ces espèces présumées cosmopolites comprennent plusieurs espèces, dont une lignée antarctique qui a probablement colonisé le continent avant le début des glaciations du Pléistocène (2.6 Ma).

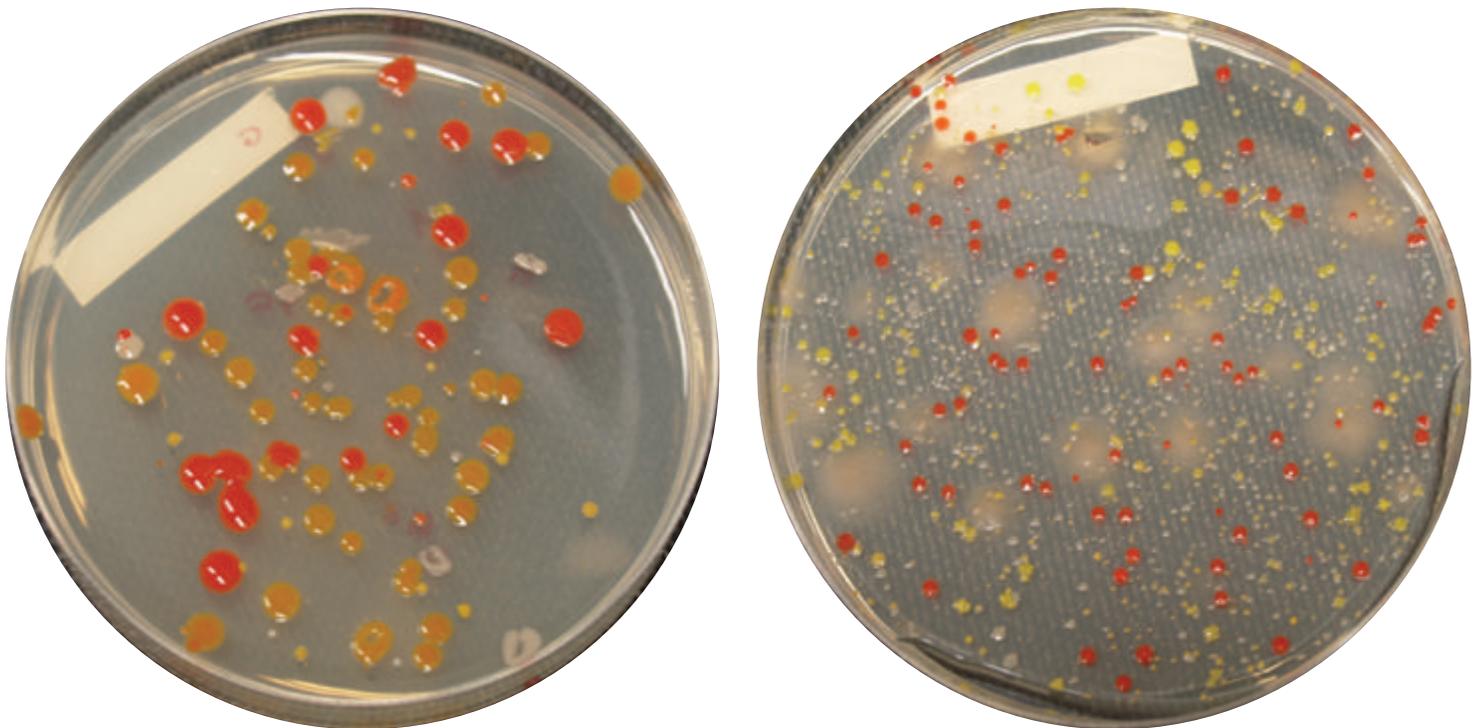


Tapis microbien lacustre sur la presqu'île de Skarvsnes, Lützow Holm bay, Antarctique de l'Est. Photo W. Vyverman

Pour les algues vertes, les séquences d'ARN ribosomique de la petite sous-unité (SSU) de souches de microchlorophytes d'eau douce ont révélé une grande diversité phylogénétique de lignées apparemment endémiques. La majorité des lignées ont des âges estimés entre 17 et 84 Ma. Ces résultats semblent indiquer un petit nombre de colonisations indépendantes du continent antarctique et la survie de ces lignées dans des refuges glaciaires. Une analyse de la diversité non-cultivée utilisant l'électrophorèse en gradient de dénaturant (DGGE) de l'ARNr SSU des tapis microbiens de plus de 40 lacs du continent a montré des différences régionales dans la flore des algues vertes, qui sont expliquées à la fois par les conditions environnementales locales et les facteurs historiques.

Pour les bactéries, l'isolement d'environ 3800 souches de 9 échantillons a révélé une large diversité de bactéries hétérotrophes. 37% des souches semblaient restreintes à l'Antarctique, et beaucoup étaient nouvelles. Il n'y avait qu'un recouvrement limité entre les souches bactériennes obtenues de chaque échantillon, ce qui suggère une grande variation spatiale de la composition des espèces et une diversité d'espèces à distribution restreinte. Nous avons obtenu des représentants de 5 groupes phylogénétiques majeurs (*Actinobacteria*, *Proteobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes* et *Deinococcus-Thermus*) dont plusieurs taxons nouveaux. Ceci suggère qu'en Antarctique, on trouve aussi bien des taxons cosmopolites que des taxons aux distributions limitées, qui ont dû évoluer en conditions isolées.

Dans les lacs d'Antarctique de l'Est, une étude de la diversité moléculaire des cyanobactéries basée sur la DGGE et les séquences d'ARNr SSU pour 50 tapis microbiens a montré la présence de 35 Unités Taxonomiques Opérationnelles (OTU, groupes de séquences d'ARNr SSU ayant plus de 98% de similarité). 37% des OTUs avaient une distribution restreinte à la biosphère froide (incluant les régions alpines et arctiques) et 17% étaient potentiellement endémiques à l'Antarctique. La plupart des OTUs étaient présents dans plusieurs régions de l'Antarctique de l'Est. Dans les habitats terrestres, 157 échantillons de graviers, glace, croûtes microbiennes et rochers ont été collectés dans 10 sites proches de la Station Princesse Elisabeth pendant les 3 expéditions BELARE. Quinze morphotypes de cyanobactéries ont été observés par microscopie optique. Avec la DGGE basée sur l'ARNr SSU, 31 OTUs ont été obtenus, incluant 10 OTUs potentiellement endémiques en Antarctique et 6 OTUs trouvés uniquement dans cette région. Ce pourcentage assez élevé d'endémiques (32%) pourrait être lié au fait que les Montagnes Sør Rondane aient servi de refuge glaciaire.



Isolats bactériens avec des pigments colorés qui les protègent, notamment contre les rayonnements UV. Photo K. Peeters



Cyanotheca aeruginosa dans un échantillon de gravier sur le nunatak d'Utsteinen.

Photo Marie-José Mano

Un plaidoyer pour l'inclusion des taxons microbiens dans les stratégies de conservation et la désignation de zones inviolées

En résumé, la présence de taxons endémiques dans tous les groupes étudiés et les évidences montrant que les différences régionales dans les communautés microbiennes sont liées aux événements historiques passés, impliquent la nécessité d'une meilleure protection de ces communautés. En particulier, le suivi de cette biodiversité pourrait aider à déterminer l'impact des changements climatiques et des activités humaines. C'est pourquoi, nous plaidons pour que la diversité microbienne soit considérée comme un critère additionnel pour la désignation des ZSPAs. Avec les développements des nouvelles technologies de séquençage et les outils de type '-omiques', la détermination de la diversité microbienne deviendra aussi abordable que le suivi des populations d'oiseaux, mammifères, plantes ou organismes multicellulaires en général. De plus, l'Annexe V (Article 3) au Protocole environnemental prévoit la possibilité d'inclure dans les ZSPAs 'des zones encore vierges de toute intrusion humaine, pour pouvoir ultérieurement effectuer des comparaisons avec des régions qui ont été altérées par les activités humaines' (www.ats.aq/documents/recatt/Att004_f.pdf). Les désignations de zones inviolées sont primordiales pour préserver des zones de référence pour les études futures de diversité microbienne dans un contexte de pression anthropogénique croissante.

Les auteurs

Elie Verleyen, Dagmar Obbels, Aaike De Wever, Caroline Souffreau, Pieter Vanormelingen, Koen Sabbe et Wim Vyverman (Onderzoeksgroep Protistologie en Aquatische Ecologie de l'Université Gent).

Karolien Peeters, Bjorn Tytgat et Anne Willems (Laboratorium voor Microbiologie de l'Université Gent).

Damien Ertz et Bart Van de Vijver (Jardin botanique national de Belgique).

Marie-José Mano, Pedro De Carvalho Maalouf, Rafael Fernandez-Carazo, Zorigto Namsaraev et Annick Wilmotte (Centre d'Ingénierie des Protéines de l'Université de Liège).

Les auteurs sont des partenaires dans les projets (CC)AMBIO, BELDIVA et ANTAR-IMPACT.



Des roches venues de l'espace sur la glace

SAMBA (Search for Antarctic Meteorites: Belgian Activities) est un projet de la Vrije Universiteit Brussel (VUB) et de l'Université Libre de Bruxelles (ULB), financé par la Politique scientifique fédérale (Belspo) et mené en collaboration avec le National Institute of Polar Research (NIPR) de Tokyo.

Depuis 2009, des scientifiques de la VUB, de l'ULB et du NIPR ont effectué trois expéditions de collecte de météorites dans les champs de glace bleue en Antarctique oriental, aux alentours de la Station Princesse-Élisabeth (PE). Ce sont au total 1 278 nouveaux échantillons qui y ont été trouvés. L'étude de ces fragments permettra d'éclaircir les mystères de l'origine du système solaire et de la formation des premières planètes, il y a 4,5 milliards d'années.

L'importance des météorites

Les météorites sont les vestiges des éléments qui ont servi à la création du système solaire. Elles nous livrent de précieux indices sur ses origines et son évolution ainsi que sur la formation des planètes. La majorité des météorites provient de la principale ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter. Quelques très rares exemplaires ont été éjectés de la croûte profonde de la Lune ou de Mars à l'occasion de gros impacts. Les météorites sont classées par groupes en fonction des différentes phases d'évolution de la nébuleuse solaire. Les plus primitives, les chondrites carbonées ainsi que d'autres chondrites, sont nées de l'éclatement de corps planétaires indifférenciés de petite taille. Le terme 'indifférencié' signifie que ceux-ci n'ont pas évolué géologiquement depuis la formation du système solaire. Les chondrites carbonées présentent presque la même

composition chimique que le soleil et résultent de la condensation de la nébuleuse solaire, presque sans fractionnement ni changement ultérieur. Les chondres (anciennes gouttes fondues de forme ronde) et les inclusions minérales riches en calcium et en aluminium (CAI) trouvés dans ces météorites sont les premières phases réfractaires de la nébuleuse à s'être condensées (> 1800 K).

La datation radiométrique des CAI de la météorite Acfer 059 à l'aide de la systématique U/Pb situe l'origine du système solaire à 4567.2 ± 0.6 Ma. Les chondrites carbonées contiennent également des composés organiques complexes (ex. acides aminés) et contribuent à la compréhension de l'origine de la vie sur Terre. Les autres groupes de météorites (ferreuses, mixtes et achondrites) proviennent de corps planétaires plus différenciés ou plus évolués qui ont subi plusieurs épisodes d'évolution planétaire comparables à la formation du noyau, du manteau et de la croûte de la Terre, ainsi qu'un ou plusieurs épisode(s) de métamorphisme de choc au cours de collisions. Ces échantillons venus de l'espace représentent une source d'information unique sur la minéralogie des profondeurs inaccessibles de la Terre. La valeur des météorites pour expliquer les processus de formation du système solaire et des planètes n'est donc plus à démontrer. Les météorites ont fourni et continuent de fournir des informations sur l'évolution stellaire et sur la nucléosynthèse, la chronologie du système solaire, la formation des planètes, les bombardements de rayons cosmiques, la croûte profonde de Mars et de la Lune, les différents types d'astéroïdes et servent souvent à 'calibrer' les instruments des sondes orbitales et des modules d'atterrissage utilisés pour l'exploration spatiale (comme Spirit ou Pathfinder).



Scientifique en train de collecter une météorite sur le champ de glace bleue.

Les météorites en Antarctique

En 1969, une équipe de glaciologie japonaise a découvert pour la première fois neuf météorites dans les glaces de la région des monts Yamato en Antarctique orientale. Aujourd'hui, les échantillons collectés en Antarctique représentent environ 70 % de toutes les météorites connues. Leur étude a fortement amélioré nos connaissances sur la formation du système solaire et des planètes. Même si les matériaux extraterrestres tombent de manière homogène partout sur la Terre, les champs de glace de l'Antarctique concentrent des météorites rares et précieuses. En effet, les températures basses et l'extrême sécheresse du pôle Sud les préservent de l'érosion terrestre. Une météorite tombant en Antarctique est rapidement enfouie sous la neige et plonge progressivement plus profondément au fil des saisons pour finir emprisonnée dans les glaces à mesure que la neige se cristallise sous la pression. Or, la glace avance comme un lent système hydraulique. Les météorites enfouies, entraînées par les glaces, progressent vers l'extrémité du continent. La majorité d'entre elles finit, hélas, par tomber dans l'océan. Toutefois, lorsqu'un obstacle, comme une chaîne de montagnes, bloque ou ralentit la progression des glaces, leur mouvement devient vertical et les vents violents dégagent la neige en surface et rongent lentement la glace (schéma 1). Au fil du temps, les météorites prises au piège des profondeurs des glaces remontent à la surface, poussées par les glaces profondes qui viennent remplacer la surface érodée. Ces zones de flux vertical de glace qui concentrent les météorites apparaissent bleues sur les images satellites. Avec de la patience, une bonne vue et un peu de chance, il est donc possible de collecter de nombreuses météorites dans les champs de glace bleue de l'Antarctique.

Les États-Unis et le Japon dominent la recherche de météorites en Antarctique depuis trente-cinq ans. Les expéditions japonaises collectent essentiellement des météorites dans les champs de glace entourant les monts Yamato en Antarctique orientale, tandis que les Américains se concentrent sur l'autre côté du continent, à partir de la célèbre base McMurdo. Néanmoins, les champs de glace bleue situés autour de la station belge Princesse-Élisabeth et des monts Sør Rondane se classent parmi les meilleurs sites pour leur abondance en météorites. Plusieurs échantillons rares et précieux comme des météorites martiennes et lunaires ont été récupérés en Antarctique orientale et ont contribué à faire fortement progresser les sciences planétaires. En augmentant le nombre de météorites collectées, on multiplie en effet les chances de trouver des types nouveaux et/ou rares qui permettront de mieux comprendre l'évolution du système solaire.

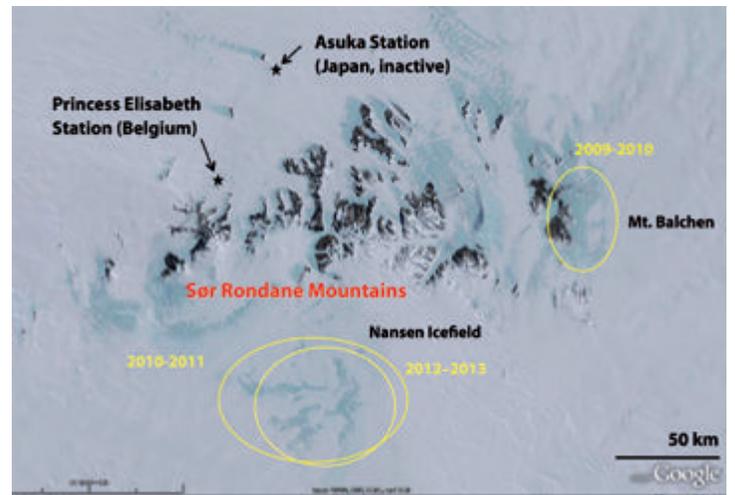


Schéma 2: Région couverte par les expéditions de prospection de 2009-2010, 2010-2011 et 2012-2013.

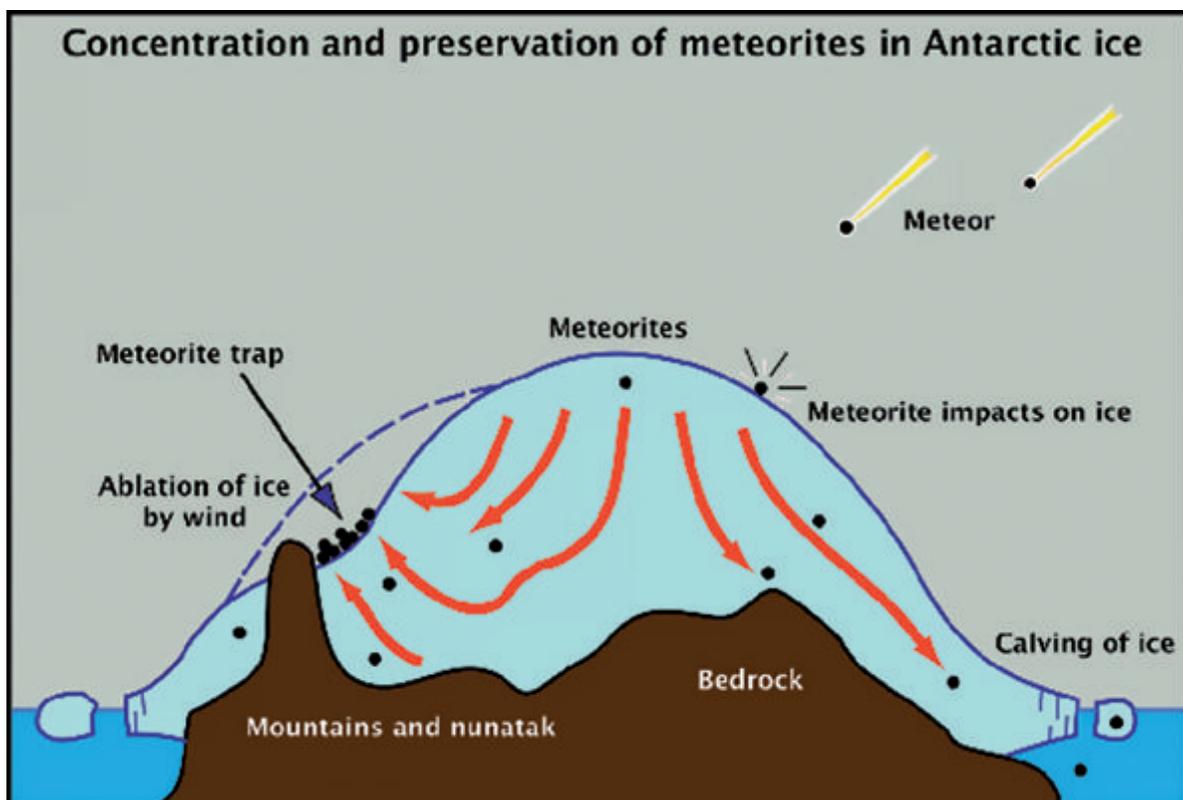


Schéma 1: Accumulation, progression et préservation de la météorite dans les champs de glace bleue.

Aujourd'hui, à mesure que les météorites échouées remontent lentement, mais régulièrement à la surface en raison du mouvement des glaces, de nombreux échantillons restent à découvrir. La station Princesse-Élisabeth représente la base logistique idéale pour cette entreprise. L'initiative SAMBA a pour but de récupérer ces météorites uniques et de les rapporter au laboratoire pour les examiner en détail. Comme il s'agit d'une initiative belgo-japonaise, les échantillons récupérés seront partagés à parts égales entre les deux pays. Après la classification initiale – c'est-à-dire la détermination du type de météorite et sa caractérisation en termes de composition –, les échantillons seront mis à la disposition des chercheurs belges et japonais collaborant au projet ainsi que du reste de la communauté scientifique internationale. Une installation de conservation a été mise en place au sein de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique (IRSNB).

Cette installation travaillera en parallèle avec le système de conservation existant au NIPR afin d'attribuer des fragments d'échantillons aux chercheurs des institutions du monde entier, sur demande motivée. En fin de compte, grâce à la conservation de cette collection d'échantillons antarctiques, l'IRSNB devrait devenir une plateforme centrale pour la recherche relative aux météorites en Europe.

Les expéditions de recherche de météorites

En 2009, le dr Steven Goderis (VUB) a participé à l'expédition japonaise JARE 51 dans la région du mont Balchen, à environ 200 km de la station Princesse-Élisabeth. Cette expédition conciliait étude de la géologie locale et collecte de météorites. Après un mois à bord du célèbre brise-glace japonais Shirase qui avait appareillé à Perth (Australie), les membres de l'expédition sont arrivés à Crown Bay où il a fallu procéder à un déchargement spectaculaire par hélicoptère. L'équipe a ensuite apporté son soutien à la constitution du convoi sur le plateau de glace avant de partir pour la zone de Balchenfjella (~1600 m d'altitude) à l'est des monts Sør Rondane quelques jours plus tard. La prospection particulièrement fructueuse de météorites dans des conditions météorologiques imprévues a permis de collecter un impressionnant nombre de 635 fragments de météorites en 6 semaines, dont plusieurs types rares, comme des uréilites et des météorites ferreuses.

L'année suivante, une mission d'exploration a été organisée en vue d'ouvrir la difficile route reliant la station Princesse-Élisabeth au champ de glace de Nansen situé en haute altitude (2900 m) à environ 140 km au sud, sur la face sud des monts Sør Rondane. Le but était d'explorer la région afin de découvrir son potentiel de météorites. Cette petite expédition se composait de Steven Goderis, Vinciane Debaille (ULB) et Hiroshi Kaiden (NIPR). En raison du nombre de participants restreint, des conditions météorologiques défavorables, des températures glaciales et des vents très violents, l'équipe a recueilli moins de 10 kg d'échantillons (218 fragments) dans la partie nord-ouest de Nansen.

Cette mission a toutefois permis de confirmer le fort potentiel du champ de glace de Nansen pour la prospection de météorites.

En 2012-2013, une expédition bien plus large, emmenée par Vinciane Debaille, a été mise en place pour rejoindre à nouveau les parties sud et est du champ de glace de Nansen. Elle comptait 8 scientifiques, dont 5 scientifiques belges de l'ULB et de la VUB, et trois Japonais, deux du NIPR et un de l'université de Tokyo. Cette fois-ci, l'équipe a passé six semaines sur le plateau, collectant 425 météorites, dont un spécimen unique de 18 kg, la plus grosse météorite découverte en Antarctique oriental depuis 25 ans. Cette expédition a été un grand succès puisqu'elle a permis de rapporter plus de 75 kg de météorites.



Gros plan d'une grosse météorite sur la glace.



Comment procéder pour trouver des météorites ?

Les motos-neige sont le moyen le plus communément utilisé pour prospecter les immenses champs de glace à la recherche de météorites, car ces roches noires tranchent sur le blanc de la glace. Sur d'autres sites, près d'un champ de moraine par exemple, il est possible d'effectuer les recherches à pied. Avec les motos-neige, une équipe parcourt 15 à 30 km par jour, ce qui prend entre 4 et 6 heures selon les conditions météorologiques. Les membres de l'équipe adoptent généralement une formation en V, avec le guide en tête chargé de repérer les crevasses ou tout autre risque potentiel. Une distance de 20 à 50 m sépare les conducteurs, selon la visibilité et les dangers potentiels du champ. Les roches terrestres sont rares dans les champs de glace bleue et, au besoin, les météorites se reconnaissent à la présence d'une croûte de fusion due à l'échauffement lors de leur rapide passage dans les couches de l'atmosphère. Lorsqu'une météorite est repérée, il convient de relever ses positions GPS et de prendre des photos avec échelle. Le nouvel échantillon est alors placé avec précaution dans un sac en plastique, sans contact des mains, afin d'éviter toute contamination biologique, puis étiqueté, et toutes les informations disponibles sont enregistrées dans un journal de bord. Tout le monde reprend alors sa place dans la formation en V, avec la météorite rangée bien à l'abri dans un sac.

Les météorites récoltées sont d'abord envoyées congelées au Japon. Au NIPR, elles subissent une procédure spécifique de mise à température ambiante. Ces météorites ont pendant longtemps été protégées de l'érosion par la neige et la glace, il convient donc d'éviter l'infiltration et l'inclusion d'eau dans la roche lors du processus de dégel. Celui-ci se déroule donc sous vide, afin que la glace se transforme en vapeur et non en H₂O liquide. La météorite reste ainsi sèche, intacte et non contaminée ; elle est alors prête à subir toutes sortes de tests en laboratoire de recherche afin de livrer les secrets de la naissance du système solaire et des planètes.

Le groupe posant devant la plus grosse météorite découverte lors de l'expédition 2012-2013, elle pèse 18 kg.

Les auteurs

Philippe Claeys, Earth System Science, Vrije Universiteit Brussel, phclaeys@vub.ac.be
Vinciane Debaille, G-Time, Université Libre de Bruxelles, vdebaille@ulb.ac.be
Steven Goderis, Earth System Science, Vrije Universiteit Brussel, stgoderi@vub.ac.be
Toutes les photos © Steven Goderis

Formation en V utilisée pour la prospection des météorites.



La 'taxonomie intégrative' en tant que discipline fondamentale dans les milieux polaires

La crise mondiale de la biodiversité

Actuellement, les espèces subiraient un taux d'extinction un millier de fois supérieur à celui estimé à partir des archives fossiles, et celui-ci pourrait s'aggraver d'un facteur dix dans un futur proche. Or, toute perte de biodiversité a des impacts sur le fonctionnement des écosystèmes, leur stabilité, leur capacité à résister au changement, les services qu'ils peuvent rendre, et le bien-être humain en général.

Face à cette crise de la biodiversité à l'échelle planétaire et aux menaces liées au changement climatique mondial, l'amélioration de notre connaissance de la biodiversité est une priorité absolue, en particulier dans les milieux polaires, où beaucoup d'organismes ne supportent qu'une marge étroite de variation des facteurs du milieu et sont donc particulièrement vulnérables.

Taxonomie intégrative

La connaissance de la biodiversité repose sur l'espèce et donc sur la taxonomie, cette discipline biologique qui identifie, décrit, nomme et classe les espèces. La catégorie 'espèce' est l'unité fondamentale, que ce soit pour estimer l'étendue et la structure de la biodiversité, le dressage de cartes de biodiversité, observée ou prédite, l'identification de 'points chauds' de richesse d'espèces et d'endémisme, ou encore pour définir les aires de protection.

Actuellement, plutôt que de considérer une nouvelle espèce comme un nouveau fait naturel, les taxonomistes l'abordent comme une véritable hypothèse scientifique, dont la délimitation est supportée par des données issues de différents champs de la recherche. Dans cette approche d'une taxonomie dite 'intégrative', de nouvelles méthodes et données – notamment moléculaires (ADN) – prennent une importance de plus en plus grande.

Ces dernières années, le séquençage de l'ADN, et particulièrement l'utilisation grandissante des codes-barres moléculaires, ont permis d'améliorer la découverte de nouvelles espèces et de révéler une quantité considérable, et inattendue, de diversité cryptique. Ces découvertes ont des répercussions importantes sur l'évaluation de la biodiversité, la conservation, ou encore la nomenclature des groupes étudiés.

Combinée à l'approche morphologique classique, l'approche moléculaire a également permis de réactiver plusieurs problématiques évolutives et historiques liées à la biodiversité de l'océan Austral et des eaux profondes environnantes. Les Crustacés Amphipodes, un groupe étudié de longue date à l'IRSNB, permettent d'illustrer ces différents aspects.



Orchomenopsis sp.



Abyssorchomene rossi.

Fig. 1 Exemples d'amphipodes lysianassoïdes antarctiques.
(Photos : H. Robert, C. d'Udekem d'Acoz ; IRSNB).

Espèces cryptiques et biodiversité

Au sein des Crustacés Pércarides, les Amphipodes représentent le groupe le plus riche en espèces avec 919 espèces dans l'océan Austral dont 545 sont strictement antarctiques (c.-à-d. présentes dans la région circonscrite par les côtes continentales et le front polaire) et 417 sont endémiques, ce qui correspond à un taux d'endémisme d'environ 76 %. L'utilisation des codes-barres ADN a permis d'affiner la délimitation des espèces au sein de plusieurs groupes d'amphipodes antarctiques et de modifier notre perception de leur biodiversité. Ainsi, certaines espèces d'amphipodes lysianassoïdes antarctiques (fig. 1), supposées à distribution circumpolaire antarctique et présentes à toutes profondeurs (espèces eurybathes), étaient en fait des complexes d'espèces cryptiques, à distribution restreinte.

Le lysianassoïde *Eurythenes gryllus*, amphipode abyssal géant habituellement considéré comme une espèce à distribution cosmopolite et eurybathique, fournit un exemple intéressant de ségrégation bathymétrique, c.-à-d. liée à la profondeur de l'océan (Havermans et al., 2013) (fig. 2). Une approche taxonomique intégrative, combinant analyse génétique, morphologie et phylogéographie, a récemment montré qu'*E. gryllus*

était, en fait, un complexe de plusieurs espèces, à répartitions bathymétriques distinctes, suggérant, en outre, l'existence d'une barrière phylogéographique universelle de tolérance à la pression barométrique. La plupart des espèces identifiées au sein du complexe *E. gryllus* semblent confinées à une seule région océanique. Seule l'espèce la plus proche du type morphologique ayant servi à la description d'*E. gryllus* est présente dans la zone bathyale des océans Arctique et Austral. Cette distribution bipolaire est démontrée pour la première fois au sein des macro-invertébrés benthiques des eaux profondes.

Ces études, entamées sur un groupe d'amphipodes particuliers, se poursuivent dans plusieurs autres groupes, dont certains sont des éléments iconiques de la faune antarctique (fig. 3). Toutes confirment un scénario fondamentalement similaire, à savoir un mélange d'espèces à large répartition et d'autres à distribution restreinte, la plupart endémiques à la région antarctique ou à l'océan Austral, avec parfois une importante fraction de diversité cryptique et une richesse spécifique toujours fortement sous-estimée, dont la connaissance reste très parcellaire en termes de couverture des régions biogéographiques, zones bathymétriques, habitats et groupes éco-fonctionnels.



Fig. 2 *Eurythenes gryllus*, complexe d'espèces géantes abyssales (Photo : H. Robert, IRSNB).

Modélisation de la distribution de la biodiversité, changement climatique mondial et conservation

Un important volet de la recherche actuelle dans les milieux polaires, menée notamment à l'IRSNB, porte sur le développement de modèles de distribution de la biodiversité (fig. 4). Ces modèles doivent permettre de mieux comprendre comment la distribution de la faune benthique de l'océan Austral est structurée à grande échelle, et comment elle pourrait évoluer en réponse au changement climatique mondial. Bien que l'aspect évolutif de ces modèles leur permette une grande souplesse, ils restent fondamentalement dépendants des résultats fournis par la taxonomie.

Outre le fait que l'approche taxonomique intégrative permet de remettre en question certains paradigmes liés à la distribution des espèces, l'identification de complexes d'espèces cryptiques a un impact important pour la conservation. Alors que, avant d'être reconnus comme tels, les complexes d'espèces cryptiques avaient une large distribution géographique, les espèces biologiques identifiées dans ces complexes ont souvent une distribution plus restreinte, ce qui les rend d'autant plus vulnérables et sujettes à extinction. La découverte de ces poches d'endémisme et de diversité précédemment inconnues a donc inévitablement des répercussions sur l'identification de zones nécessitant des mesures de protection.

En résumé, le développement récent de nouveaux concepts et approches a permis à une taxonomie dite 'intégrative' de mieux comprendre et protéger la biodiversité. Par le fait qu'elle constitue les fondations sur lesquelles sont construites toute une série de disciplines dérivées, telles que l'écologie et la science de la conservation, la taxonomie reste une discipline fondamentale sur laquelle repose la crédibilité de la recherche biologique dans les milieux polaires.

L'auteur

Patrick Martin est chercheur à l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique.

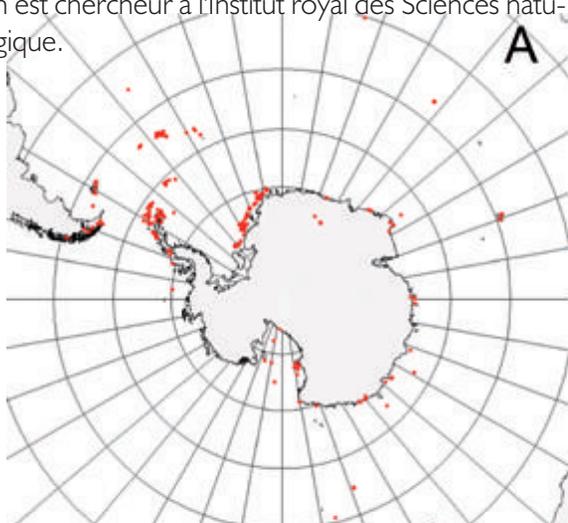


Fig. 4 A. Distribution des sites de présence des amphipodes du genre *Orchomene*.

B. Aires de distribution les plus adéquates pour les amphipodes du genre *Orchomene*, générées par modélisation par entropie maximale (méthode MaxEnt) ; gradient de couleurs : rouge = aires les plus adéquates, bleu = aires les moins adéquates. (Planches : B. Pierrat, Université de Bourgogne, France).



Echiniphimedia hogdsoni



Epimeria rubrieques

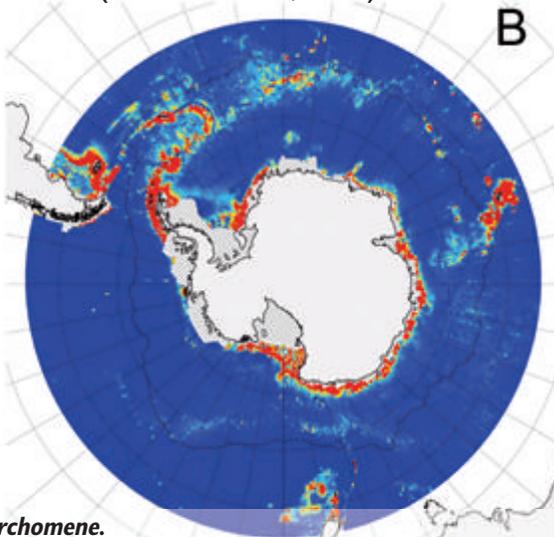


Eusirus giganteus



Liljeborgia sp.

Fig. 3 Illustration de différents groupes d'amphipodes étudiés à l'IRSNB. (Photos: H. Robert, IRSNB).



APECS BeNeLux

United we stand, divided we fall

L'association des jeunes chercheurs sur les régions polaires (Association of Polar Early Career Scientists, APECS) est une organisation internationale interdisciplinaire qui rassemble des étudiants en dernière année, des doctorants, des chercheurs postdoctoraux, des professeurs et toute personne montrant un intérêt pour les pôles et la cryosphère. L'APECS ambitionne de stimuler la collaboration entre chercheurs et de former de futurs chefs de file efficaces dans le domaine de la recherche polaire, de l'enseignement ou du travail de sensibilisation. Pour atteindre ces objectifs, l'APECS s'efforce de développer des réseaux d'échange d'idées et d'expériences et de lancer de nouvelles orientations de recherche ou collaborations. L'APECS offre également des possibilités d'évolution de carrière, assure la promotion de l'enseignement et du travail de sensibilisation comme élément de la recherche polaire et stimule les chercheurs de diverses manières. L'APECS compte actuellement près de 4 000 membres dans 76 pays de par le monde. La direction quotidienne de l'organisation est assurée par le directeur et le comité exécutif, qui peuvent compter sur le soutien d'un conseil composé de 26 jeunes chercheurs. Ils sont également conseillés par les scientifiques expérimentés du comité consultatif.



Compilation du noyau dur qui se réunit régulièrement.



Journée de l'Antarctique 1^{er} décembre 2011 © Ines Tavernier

Plusieurs comités APECS ont vu le jour au niveau national, dont l'APECS Belgium, qui a été fondée le 1er décembre 2011 dans l'esprit de la journée de l'Antarctique et dans la lignée du Youth Steering Committee précédemment créé. Pour célébrer et commémorer la signature du traité sur l'Antarctique par douze nations le 1er décembre 1959, différentes activités sont organisées chaque année partout dans le monde à l'occasion de la journée de l'Antarctique. C'est dans ce cadre que plusieurs chercheurs belges se sont retrouvés. Lors de cette rencontre, ils ont pu assister à une conférence sur le traité sur

l'Antarctique donnée par le juriste en droit de l'environnement Hendrik Schoukens (université de Gand) ainsi qu'à de courts exposés présentés par d'autres participants. Cette journée a mené à la formation du noyau dur de l'APECS Belgium. Les jeunes chercheurs ont fait connaissance, ont découvert les recherches menées par leurs collègues et ont pu parler dans une ambiance informelle.

Depuis lors, le noyau dur, composé d'Anton Van de Putte (biodiversity.aq), Ines Tavernier, Dagmar Obbels, Francesca Pasotti, Freija Hauquier, Hendrik Schoukens (université de Gand), Marie Dierckx, Denis Callens, Morgane Philippe (Vrije Universiteit Brussel), Marie-Jose Mano et Pedro De Carvalho Maa-louf (Université de Liège), se réunit régulièrement au sein de la Politique scientifique fédérale afin de discuter de futurs événements. L'année dernière, le groupe a rendu visite au projet New Belgica (Boom, Belgique). Ce projet social, emmené par Eddy Steur, offre à des chômeurs de longue durée une formation de menuisier en leur proposant de réaliser une réplique du Belgica, le navire de recherche à bord duquel Adrien de Gerlache a voyagé jusqu'en Antarctique et passé l'hivernage à la fin du 19e siècle. L'équipe d'Adrien de Gerlache a été la première à réaliser des observations scientifiques en Antarctique pendant une année complète. Après cette expédition scientifique, le Belgica a servi à d'autres fins avant de sombrer, pendant la Seconde Guerre mondiale, dans les eaux norvégiennes dans des circonstances obscures. La réplique sera construite selon les normes maritimes modernes et présentera également un volet éducatif, puisqu'elle voyagera partout dans le monde pour sensibiliser au changement climatique et au rôle historique des pionniers comme Adrien de Gerlache.



© Anton Van de Putte



Photo du groupe BeNeLux

La rencontre fortuite des représentants de la Belgique (Ines Tavernier), des Pays-Bas (Frigga Kruse) et du Luxembourg (Tania Gibéryen) lors de la conférence internationale de l'année polaire à Montréal au Canada (avril 2012) a fait naître l'idée de la fondation de l'APECS BeNeLux. Cette initiative visait, à la base, à permettre aux jeunes chercheurs des pays voisins intéressés par les régions polaires de collaborer plus étroitement. L'union fait la force. Cela a donné lieu, les 11 et 12 octobre 2012, au premier symposium (bi)annuel de l'APECS BeNeLux organisé à Gand par le noyau dur de l'APECS Belgium et auquel des intervenants nationaux et internationaux étaient invités : dr. Frank Pattyn (glaciologue et modélisateur de la calotte glaciaire à la Vrije Universiteit Brussel), dr. Renuka Badhe (Scientific Committee on Antarctic Research - SCAR), dr. Pete Convey (écologiste terrestre au British Antarctic Survey - BAS) et dr. José Xavier (biologiste marin à l'université de Coimbra (Portugal) et au British Antarctic Survey). Outre ces orateurs, 12 jeunes chercheurs y ont également présenté leurs travaux. Une des présentations a été réalisée par Wim Van Buggenhout. Ce professeur de l'enseignement secondaire a évoqué les différents projets grâce auxquels il inspire ses élèves et suscite leur intérêt pour la science, le climat et les pôles. Il est en effet crucial d'instaurer un lien plus fort entre les scientifiques et les professeurs afin d'encourager et de motiver les élèves, car ce sont eux, au final, qui formeront la prochaine génération de chercheurs. Quatre ateliers étaient organisés lors du deuxième jour du symposium : aptitudes à réaliser des présentations, carrières non académiques, utilisation des médias et rédaction de propositions de recherche. Ces compétences, qui ne s'acquièrent généralement pas à l'université, ont été transmises par les intervenants assistés d'autres experts invités comme les journalistes Manu Sinjan et Jos Van Hemelrijck, ainsi que David Cox et Martine Vanderstraeten de la Politique scientifique fédérale. Pour briser la glace entre les jeunes scientifiques et les chercheurs expérimentés, plusieurs activités sociales réussies étaient organisées sur le lieu même de la conférence et dans le centre historique de Gand.



Alors que la Belgique accueille l'Antarctic Treaty Consultative Meeting (ATCM) à Bruxelles du 20 au 29 mai 2013, l'APECS Belgium estime qu'il est temps d'attirer l'attention sur les pôles, leur protection, le rôle historique de la Belgique dans la recherche scientifique sur l'Antarctique, l'importance de la recherche actuelle et le changement climatique. Nous prévoyons pour cela d'organiser un événement le week-end des 25 et 26 mai. Il s'agira d'une fête scientifique (avec expériences), de conférences et de documentaires ouverts à toutes les personnes intéressées par les pôles. Cet événement gratuit s'adressera en particulier aux familles, aux étudiants et aux enseignants. L'APECS Belgium se chargera du soutien logistique ainsi que de l'aspect organisationnel de l'événement et compte sur ses contacts et partenaires pour la réalisation des expériences pendant le week-end. Des intervenants expérimentés donneront plusieurs conférences adaptées aux différentes tranches d'âge, aussi bien sur l'Antarctique que sur l'Arctique. Nous espérons également encourager les responsables politiques présents à se rendre à l'ATCM. Cet événement est reconnu et soutenu par le SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research), l'IASC (International Arctic Scientific Committee), les archives antarctiques belges, le projet New Belgica, l'APECS international et la Politique scientifique fédérale. Avec cette action, les jeunes chercheurs belges espèrent partager leur enthousiasme pour les pôles avec un plus large public et éveiller les consciences autour de la problématique des changements environnementaux qui s'y produisent à une vitesse préoccupante.



Visite au chantier New Belgica
© Ines Tavernier

Les auteurs

Ines Tavernier est coordinatrice du consortium Marine@UGent à l'Université Gent. Dagmar Obbels est chercheur au Research Unit Protistologie en Aquatische Ecologie de l'Université Gent. Anton Van de Putte est coordinateur de l'Antarctic Biodiversity Information Facility (AntaBIF). Leur contribution est publiée au nom de l'APECS Belgium.



Science Connection est le magazine gratuit de la Politique scientifique fédérale.

Éditeur responsable :

Dr Philippe METTENS
Avenue Louise, 23 I
B-1050 Bruxelles

Coordination :

Maike VANCAUWENBERGHE et Patrick RIBOUVILLE
+(32) (0)2 238 34 11
scienceconnection@belspo.be
www.scienceconnection.be

Les auteurs sont responsables du contenu de leur contribution.

Tirage :

15.000 exemplaires en français, en néerlandais et en anglais

Abonnement:

www.scienceconnection.be

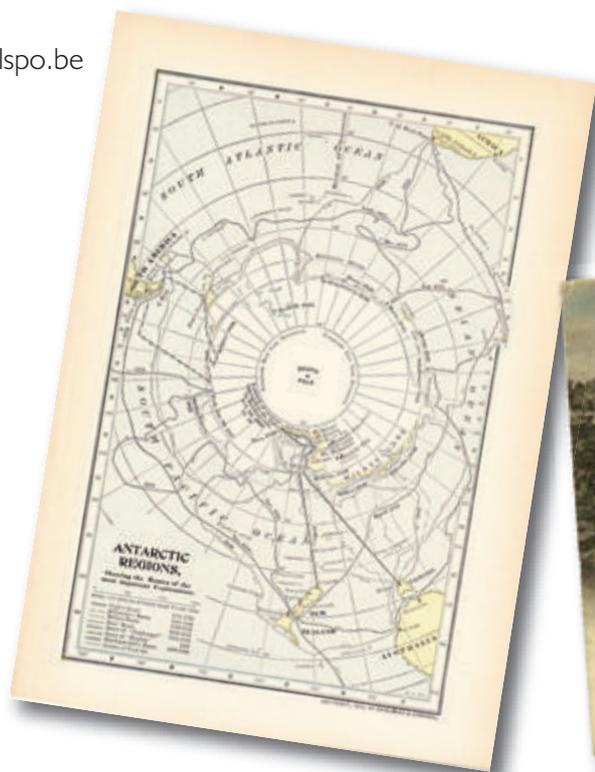
Tous les numéros sont disponibles en format PDF.

Une erreur à votre patronyme ? Une adresse incomplète ?
Un code postal erroné ? N'hésitez pas à nous le faire savoir par
retour de courrier électronique ou en nous renvoyant corrigée
l'étiquette collée sur l'enveloppe contenant votre magazine.

Science Connection
est conçu graphiquement, mis en pages et imprimé par

PROXESS MAES NV
Kleine Kloosterstraat 17
1932 Zaventem

www.belspo.be



La mission de la Politique scientifique fédérale est la maximisation du potentiel scientifique et culturel de la Belgique au service des décideurs politiques, du secteur industriel et des citoyens : "une politique pour et par la science". Pour autant qu'elle ne poursuive aucun but commercial et qu'elle s'inscrive dans les missions de la Politique scientifique fédérale, la reproduction par extraits de cette publication est autorisée. L'État belge ne peut être tenu responsable des éventuels dommages résultant de l'utilisation de données figurant dans cette publication.

La Politique scientifique fédérale ni aucune personne agissant en son nom n'est responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans cette publication ou des erreurs éventuelles qui, malgré le soin apporté à la préparation des textes, pourraient y subsister.

La Politique scientifique s'est efforcée de respecter les prescriptions légales relatives au droit d'auteur et de contacter les ayants droits. Toute personne qui se sentirait lésée et qui souhaiterait faire valoir ses droits est priée de se faire connaître.



Imprimé avec des encres végétales sur un papier respectueux de l'environnement.

© Politique scientifique fédérale 2013.
Reproduction autorisée moyennant citation de la source.

Interdit à la vente.

Pour plus d'informations sur le système de management intégré Qualité-Environnement de la Politique scientifique fédérale : www.belspo.be





KANDINSKY & Russia

Musées royaux des Beaux-Arts de Belgique
 Koninklijke Musea voor Schone Kunsten van België

8.03 > 30.06.2013
expo-kandinsky.be

Accès / Toegang

Royale / Koning **T 92 94**
 Royale / Koning **B 27 38 71 95**

Gare Centrale ou Parc / Centraal Station of Park **M 1 5** **B** NMBS SNCB
 Mobility Mobility

E.R. / V.U.: Michel Draguet, rue du Musée 9 Museumstraat - 1000 Bruxelles / Brussel