



Réseau canadien de recherches antarctiques

Intérieur

South Pole Station a un médecin
canadien : rapport du pôle Sud **1**

Manifestations de la grande
province magmatique de Ferrar
à Allan Hills, terre Victoria **8**

Outils de biorestauration des sols
sub-antarctiques exposés
aux hydrocarbures pétroliers **10**

Photosynthèse en vue :
vie du phytoplancton dans les lacs
recouverts de glaces des vallées
sèches de McMurdo **17**

La Légine antarctique, système
modèle de biologie oculaire **19**

Année polaire internationale
(2007–2008) **20**

Nouvelles en bref **21**

South Pole Station a un médecin canadien : rapport du pôle Sud

Christian Otto

Les D^{rs} Christian Otto et Rebecca Comley sont des médecins urgentistes de Kingston (Ontario). Le 22 octobre 2004, l'équipe, soit le mari et son épouse, est arrivée à South Pole Station : ils allaient y prendre leurs fonctions de médecins. Le D^r Comley a signé pour la durée de l'été antarctique, tandis que le D^r Otto y exercera pendant un an. Il avait auparavant terminé une visite d'un an en tant que médecin de la station McMurdo en 2002–2003. Le D^r Comley a terminé ses études de premier cycle et son programme de résidence à l'Université Queen's et a obtenu son diplôme de médecin à l'Université McMaster. Le D^r Otto a fait ses études de premier cycle et ses études médicales à l'Université d'Ottawa et sa résidence à l'Université Queen's. Les deux médecins ont travaillé dans l'Extrême-Arctique canadien; de plus le D^r Otto a été médecin d'expédition. Ses recherches portent sur la télémédecine fonctionnelle. Il fait également partie du groupe de travail d'experts du Comité scientifique pour les recherches antarctiques sur la biologie humaine et la médecine. Lorsqu'ils ne sont pas dans l'Antarctique, les deux médecins exercent en médecine d'urgence dans la région de la baie de Quinte, dans l'Est ontarien.

La vocation première de South Pole Station est la science. Le pôle Sud convient tout particulièrement à diverses disciplines d'études scientifiques, en raison de sa situation particulière (c'est l'un des deux pôles terrestres), du milieu froid, de l'altitude élevée et de six mois d'obscurité. Les types de recherches menées ici comptent par exemple des projets dans le secteur nocturne, notamment l'astronomie, l'astrophysique, la cosmologie et la physique spatiale; dans le secteur de l'air propre, on fait de la météorologie et de la climatologie et, dans le secteur calme, on mène des études en géophysique et en glaciologie.

L'année écoulée au pôle Sud a été très occupée par la recherche scientifique et par la construction d'une nouvelle station surélevée; elle a même été



Figure 1
Équipe mari et
femme, les D^{rs}
Rebecca
Comley et
Christian
Otto,
médecins de
South Pole
Station,
04-2005.

la plus chargée en chirurgies. La saison estivale a été obscurcie au départ par la première épidémie jamais vue du virus de l'influenza A au pôle Sud. Du 23 octobre au 30 novembre, 458 patients ont visité la clinique du pôle Sud. Le nombre moyen de visites de patients sur un été type de trois mois et demi est de 422. Sur les 32 jours de l'épidémie, 207 patients sont venus consulter pour des problèmes des voies respiratoires supérieures. L'année précédente, 66 personnes seulement se sont présentées à la clinique médicale avec des symptômes de rhume pendant cette même période. Soixante-deux patients correspondaient à la définition de cas de grippe. Compte-tenu que la population maximale de la station à l'époque, 26,5 p. 100 de l'effectif a été infecté. Le taux relativement faible de cas pour



Figure 2
Travailleurs mettant l'acier en place pour le module A4.

cette population rarement vaccinée était dû à l'identification rapide de l'épidémie par le D^r Comley, à des mesures anti-infection dynamiques, en plus du recours à des médicaments prophylactiques pour empêcher la propagation du mal. Les incidences opérationnelles à South Pole Station ont été importantes: 1 034 heures de travail ont été perdues en raison de l'épidémie. Pendant la même période en 2003, le total des heures de maladie était de deux tiers moindre.

De plus, des températures plutôt froides pour la saison, en novembre, ont ralenti la livraison du matériel scientifique et de construction pendant trois semaines. Le personnel et le fret sont acheminés au pôle Sud par un aéronef C-130 Hercules monté sur skis. Environ 300 vols sont prévus chaque été pour livrer tout le matériel nécessaire pour la construction et l'exploitation de la station. Malheureusement, les températures inhabituellement froides pour la saison ont empêché le C-130 de demeurer au sol pour permettre aux véhicules terrestres de le décharger. Le problème était dû à des nuages de vapeur

Figure 3
Travailleurs de Ice
Cube abaissant la
chaîne et le
module du
détecteur.



gelée, qu'on appelle traînées de condensation et créés par les propulseurs de l'avion, éliminant toute visibilité derrière l'aéronef. Résultat : seul le matériel capable de supporter un « déchargement de combat », c'est-à-dire pendant que l'aéronef glissait sur la piste, a pu être livré. Les températures extrêmes ont également affecté le fonctionnement des grues, ce qui a pour un temps retardé l'érection des structures d'acier du module d'accostage A4 et du module du gymnase B4. Toutefois, fin novembre, le temps s'étant adouci, les activités normales ont pu reprendre.

L'un des grands événements scientifiques de l'été a été l'arrivée du matériel et du personnel pour le projet de détecteur de neutrinos Ice Cube, projet coopératif international de 400 millions de dollars comportant la construction du plus grand télescope à neutrinos au monde, sur le plateau polaire du pôle Sud. À son parachèvement, le projet se composera de 80 chaînes de détecteurs plongeant à deux kilomètres dans la glace et répartis sur une superficie de 2 km². Chaque chaîne comporte 60 modules opticonumériques capables de détecter les plus minuscules signatures lumineuses, indiquant des collisions de neutrinos avec les molécules d'eau gelée. La totalité de l'infrastructure de démarrage a été reçue et mise en place. À la fin de l'été, les deux premières chaînes étaient placées dans la glace, soit une réalisation de taille.

Les équipes de construction ont travaillé sans relâche pendant tout l'été et ont pu terminer les structures extérieures du module d'accostage A4 et du module du gymnase B4. Ainsi

était complétée l'empreinte de la nouvelle station surélevée du pôle Sud de 204 millions de dollars. Le projet a démarré en 2001 et devrait être terminé en 2006, année marquant le cinquantième de l'Année géophysique internationale, de même que le cinquantième anniversaire d'une présence permanente à South Pole Station.

La dernière saison estivale a été également le premier été entier de fonctionnement de la nouvelle clinique médicale. L'installation moderne offre une zone de traitements capable d'offrir les soins médicaux d'urgence et ambulatoires, une salle pour les patients de deux lits, un laboratoire et un cabinet médical. La clinique est également équipée comme un mini-hôpital et a toutes sortes de capacités thérapeutiques et de diagnostic, notamment des systèmes de pointe de communications et de télédiagnostics de santé autorisant des consultations médicales auprès de centres de soins tertiaires aux États-Unis. Cette saison a été également celle où la clinique du pôle Sud a connu le plus grand nombre de visites de patients. À la fermeture de la station, 967 visites de patients avaient été enregistrées. Cela représente une hausse de 266 p. 100 par rapport au nombre moyen de visites. Quatre évacuations médicales internationales ont été organisées à partir de South Pole Station au mois de janvier, dont trois sont décrites ici.

Un membre du projet de récupération du biplan russe Antonov a développé un grave œdème pulmonaire d'altitude, exigeant son admission et son traitement à la clinique. Le mal aigu des montagnes est une menace toujours présente au pôle

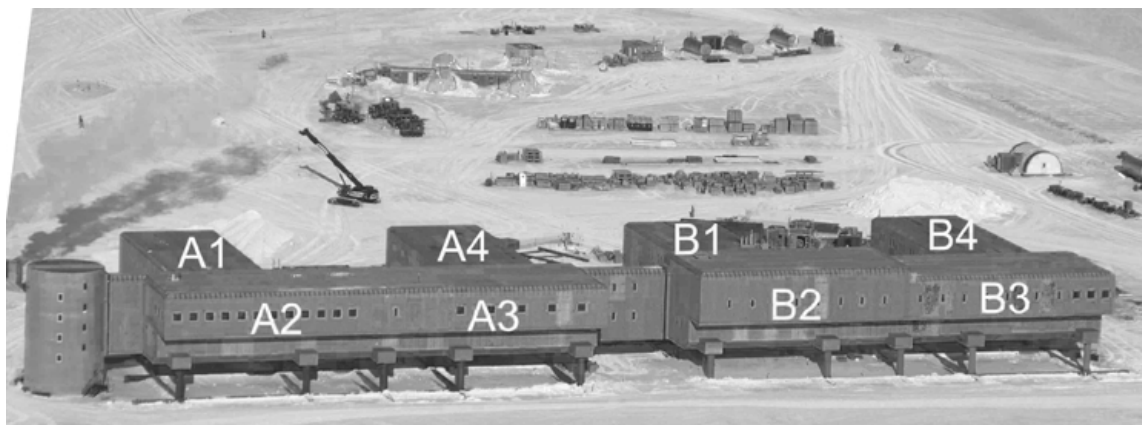


Figure 4
Parachèvement de
l'empreinte de South
Pole Station, février
2005.



Figure 5
Arrivée au Dome A pour évacuer un membre d'une expédition chinoise.

Sud, en raison de l'altitude (2 835 m au-dessus du niveau de la mer) et de la pression barométrique combinées, ce qui donne une altitude physiologique moyenne de 3 200 m au-dessus du niveau de la mer. Deux jours plus tard, le patient a été évacué à la station McMurdo.

Une semaine plus tard, la station organisait une grande expédition de sauvetage médical. Un appel reçu d'une expédition nationale chinoise ayant parcouru 965 km vers l'intérieur en trois semaines à partir de la station Zhongshan. L'expédition avait atteint Dome Argus, son objectif, soit l'un des endroits les plus inaccessibles, à plus de 4 000 m au-dessus du niveau de la mer, le point le plus élevé du plateau polaire. La Chine espère construire à cet endroit une station dans les cinq prochaines années et c'était sa première tentative d'effectuer des levés de Dome A. Un membre de l'expédition éprouvait des douleurs pul-

monaires et avait de la difficulté à respirer. L'un des scientifiques de South Pole Station parlait le mandarin et a agi comme interprète. Après évaluation de la situation, on a jugé nécessaire d'évacuer le malade. Le gouvernement chinois a officiellement demandé de l'aide et l'autorisation a été accordée par le bureau des programmes polaires de la National Science Foundation. Malheureusement, la distance de 1 225 km de South Pole Station à Dome A était légèrement supérieure au rayon d'action de l'aéronef Twin Otter. Toutefois, les Chinois ont pu fournir quatre barils de combustible, permettant un vol direct jusqu'à leur emplacement. Il a fallu un vol de quatre heures pour parvenir à Dome A et c'était la première fois qu'un Twin Otter se posait là. À l'arrivée, le patient était stable et a été ramené à de South Pole Station, sous surveillance et traitements médicaux. Il a reçu des soins et subi des tests médicaux à la station et y est demeuré pendant deux semaines avant d'être évacué vers Christchurch, Nouvelle Zélande.

La fin de semaine suivante, South Pole Station connaissait son premier cas de trauma en quatre décennies. Un membre de l'équipe de forage du projet de détecteur de neutrinos Ice Cube, sur le quart de nuit, a essayé d'empêcher l'un des câbles de 1 000 m de blesser un de ses collègues foreurs. Le



Figure 6
Le Dr Comley prélevant du sang d'un donneur bénévole.

câble est entré en sous-régime et a commencé à battre de façon erratique. Le foreur a été frappé à la poitrine et projeté sur une distance d'environ 5 m. Alertée, l'équipe médicale est arrivée en moins de cinq minutes. Le patient avait besoin de soins médicaux immédiats et a été transporté à la clinique. L'équipe médicale a appliqué les procédures de survie, apportant constamment ses soins au patient pendant les huit heures suivantes. Il a fallu ainsi activer la « banque de sang sur pieds » pour la première fois de l'histoire de la station. Le D^r Comley a prélevé plusieurs unités de sang du personnel de la station. Un aéronef C-130 a été demandé de la station McMurdo pour une évacuation médicale prioritaire. Le D^r Comley et le personnel médical de la station McMurdo ont accompagné le patient à Christchurch, Nouvelle Zélande, où il a subi d'autres traitements pour ses blessures. Le patient a survécu et reprendra le travail à South Pole Station pendant la saison estivale prochaine.

À la fin de la saison, mi-février, les travaux extérieurs de construction des deux modules d'accostage étaient terminés et l'empreinte de la nouvelle station surélevée était parachevée. Malheureusement, en raison du mauvais temps et d'un commencement tardif, de même que du mauvais temps à la fermeture de la station, on a manqué de fournitures de construction.



Figure 7

Le D^r Otto pratiquant une chirurgie sur un patient atteint d'un traumatisme.

L'un des projets scientifiques qui a dû être retardé était la construction du nouveau radio-télescope submillimétrique de 10 m dont le bouclier sismique aura presque les dimensions de celles de l'ancienne station Dome inversée. De plus, les tâches de construction hivernale pour la nouvelle station ont été réduites



Figure 8
La serre du pôle Sud en hiver.

et la population hivernante, portée de près de 100 personnes à 86. Toutefois, la population actuelle demeure la plus élevée qui ait jamais hiverné au pôle Sud. Les grands travaux de construction pour la saison d'hiver étaient les zones d'accostage du module A4, et le pôle administratif et le centre de communication du module B3 et le gymnase de B4. L'équipe de construction a travaillé sans arrêt tout au long des huit mois d'hiver et a presque terminé ces dernières sections, qui couvrent près de 25 000 pi² (2 320 m²): la superficie totale de la station est de 60 000 pi² (5 575 m²).

Malgré ce que peuvent croire nombre de gens, la vie en hiver à South Pole Station est loin d'être monotone. Le personnel travaille six jours par semaine, neuf heures par jour pendant tout l'hiver. Nous sommes une sorte de communauté: les gens

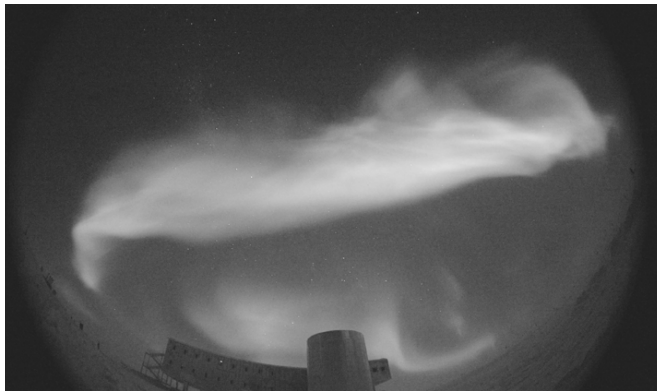


Figure 9
Le 10 juillet, aurore au pôle Sud.

arrivent et partagent les diverses tâches. Certains font partie d'une équipe de pompiers tandis que d'autres sont de l'équipe des traumatismes. Chacun participe aux tâches quotidiennes de la station, par exemple le ménage, aide à transporter les fournitures alimentaires de la semaine, aide à la cuisine ou au magasin de la station. Des bénévoles organisent des activités récréatives, par exemple des cours d'exercices ou de maniement d'embarcations et des soirées de cinéma.

Cet hiver, la nouvelle serre a pu pleinement entrer en production. Cette serre, qui est un effort mené conjointement avec l'Université de l'Arizona, est régulée par ordinateur, le système réglant tous les aspects de la production végétale, de l'éclairage à l'alimentation en eau, jusqu'à la teneur en matières nutritives pour la croissance des plantes. Le résultat est qu'elle nous a fourni un approvisionnement constant de diverses variétés de laitue, de tomates, de concombres et de fines herbes. Certaines semaines, le rendement dépassait 25 kg de produits frais. Par conséquent, nous avions de la salade jusqu'à cinq fois par semaine. De plus, la serre offre un refuge bien privilégié au personnel désireux de voir et de sentir les plantes en pleine croissance dans un environnement illuminé et humide, changement des plus bienvenus en contraste avec l'extrême sécheresse et la stérilité relative du plateau polaire.

La vie d'un médecin de station est une expérience unique et profondément gratifiante, particulièrement pour un Canadien, qui n'a normalement que peu accès à une occasion pareille. L'ampleur du domaine de pratique pourrait décou-

rager certains, tandis que d'autres se sentiront attirés. Il faut se sentir à l'aise si on doit parfois travailler à l'extérieur de son domaine de compétence. Le médecin dirige un petit hôpital; parmi les diverses tâches exécutées, il y a les radiographies, les ultrasonographies et les soins dentaires. Cet hiver, il y a eu plus de 25 cas dentaires allant de dents cassées à des pertes de couronnes. De plus, l'environnement de construction signifie qu'il y a une demande constante de physiothérapie. Nous avons enregistré cet hiver plus de 100 visites en physiothérapie. Lorsqu'il faut effectuer du travail de laboratoire, le médecin devient phlébotomiste et technicien de laboratoire. Cet hiver, plus de 150 prélèvements sanguins ont été effectués. En plus des soins médicaux normaux, le médecin agit comme conseiller, psychiatre et médiateur. Même s'il est impossible à une seule personne d'être expert dans tous les domaines de la médecine, une large formation, de même qu'un intérêt et un désir d'apprendre peuvent aboutir à un résultat heureux dans presque tous les cas difficiles. La clinique a reçu plus de 860 visiteurs au cours de l'hiver. Tout comme l'été, l'hiver a été une période record pour le nombre de visites à la clinique médicale du pôle Sud.

Il est difficile de donner une idée véritable de l'hiver austral à ceux qui ne l'ont pas connu par expérience. Loin d'être sombre et monotone, sa nature et sa beauté sont en perpétuel changement. Le ciel nocturne clignote de milliers d'étoiles et on peut voir la Voie Lactée avec une telle clarté qu'il est impossible de la décrire. Chaque mois, la brève présence de la lune est chaudement accueillie car le surcroît de luminosité augmente la visibilité et fournit un motif supplémentaire de s'aventurer à l'extérieur à des températures de -65°C , pour faire du ski ou même ne serait-ce que pour marcher. Le temps le plus froid enregistré l'hiver dernier était de $-110,4^{\circ}\text{F}$ ($-79,1^{\circ}\text{C}$), ce qui ne s'était pas vu depuis huit ans.

Pendant tout l'hiver, le ciel nocturne de la station a été illuminé par les déploiements magnifiques des aurores australes. Le vent solaire, interagissant avec la haute atmosphère, excite l'oxygène et génère une lueur verte incandescente. À l'approche de l'aube, l'augmentation de la lumière ultraviolette dans la haute atmosphère excite les molécules d'azote, ajoutant

un violet profond au mélange des couleurs de l'aurore. Nous avons connu nombre d'engelures aux mains en raison du froid, car nombre de photographes amateurs de South Pole Station voulaient à tout prix saisir ces incroyables artifices de la nature.

Ainsi qu'il arrive souvent dans la plupart des stations de l'Antarctique, l'hiver a été marqué de plusieurs jalons : la grande fête du coucher du Soleil, la fête du jour du milieu de l'hiver et finalement, le retour du Soleil. Ces occasions sont des moments de fêter et de réfléchir à l'expérience unique qu'est celle d'hiverner à l'endroit le plus éloigné de la Terre et aux sacrifices auxquels consentent les hivernants pour être ici. Les motivations varient d'une personne à l'autre ; toutefois, tous ont apporté énormément à la construction de la nouvelle station et à son fonctionnement ou encore, à la science du pôle Sud. L'arrivée du Soleil au-dessus de l'horizon signale l'approche de

la nouvelle saison et l'arrivée d'une nouvelle équipe. Nombre d'hivernants auront hâte de voyager vers des cieux plus cléments et plus ensoleillés ou de retourner à la maison. Le Dr Otto retournera dans l'Est ontarien pour voir son épouse après une séparation de neuf mois et 12 mois au pôle Sud. Après une brève pause, il reviendra travailler à la salle d'urgence et continuera ses recherches en médecine en région éloignée.

Le Dr Otto est urgentologue dans la région de la baie de Quinte, en Ontario, et est membre du groupe de travail d'experts du Comité scientifique pour les recherches antarctiques en biologie humaine et médecine (christianaotto@hotmail.com).

Figure 10

Le retour du Soleil au pôle Sud.



Manifestations de la grande province magmatique de Ferrar à Allan Hills, terre Victoria

Pierre-Simon Ross, James D.L. White et Olivier Reubi

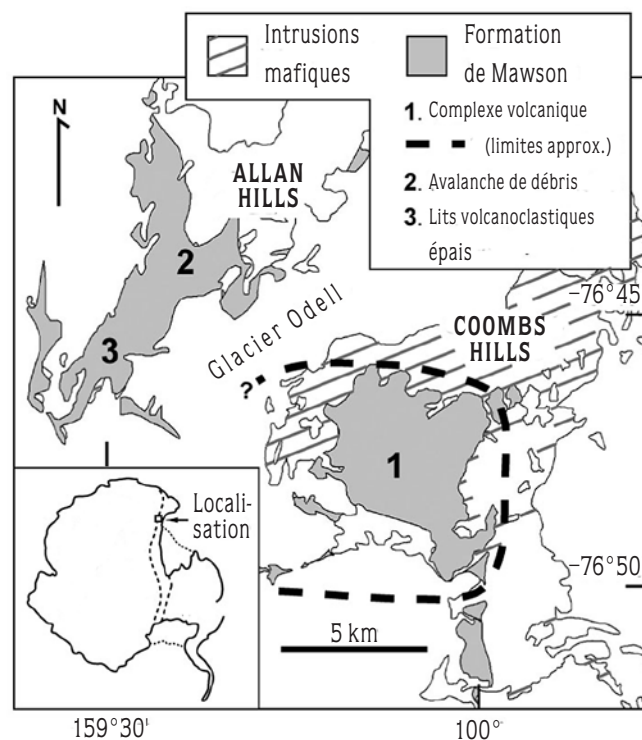
Les grandes provinces magmatiques (en anglais *Large Igneous Province*, LIP) sont caractérisées par la mise en place de millions de km³ de magma dans une région donnée, en quelques millions d'années à peine. Les trapps basaltiques constituent un type important de LIP mafique incluant notamment le célèbre plateau du Deccan en Inde (âge Crétacé à Triasique) et les laves basaltiques du fleuve Columbia, dans le nord-ouest des États-Unis (Miocène). Dans ces provinces relativement jeunes, la partie inférieure de la stratigraphie volcanique et le substratum sont mal exposés parce que les coulées de lave peuvent faire des kilomètres d'épaisseur au total. Dans les provinces plus anciennes comme celle de Ferrar, en Antarctique (Jurassique), les laves ont été en grande partie érodées, de sorte qu'il est possible d'étudier les premiers stades des éruptions, préservés en dépôts volcanoclastiques mafiques.

La région de Coombs Hills et Allan Hills est l'une des meilleures de la terre Victoria (Monts transantarctiques) pour examiner ces roches volcanoclastiques mafiques, qui appartiennent à la formation de Mawson (Fig. 1). Nous avons décrit dans un rapport antérieur (Ross et White, 2003) les résultats de notre saison de terrain 2002–2003 à Coombs Hills. En résumé, la formation de Mawson à cet endroit se compose en bonne partie de dépôts volcanoclastiques grossiers, non lités, interprétés comme remplissant un complexe volcanique phréatomagmatique excavé dans le supergroupe sédimentaire de Beacon (voir aussi Ross et White, 2006). Ces roches volcanoclastiques grossières sont recoupées par des dykes de tuf, dont le plus vaste compte parmi les plus larges dykes clastiques exposés sur la planète (Ross et White, 2005a).

La saison 2003–2004 a mis à jour des roches d'une autre origine. À Allan Hills, la Formation de Mawson est subdivisée en membres m_1 et m_2 . Le premier n'est exposé que dans le centre de Allan Hills, fait jusqu'à 180 m d'épaisseur, se compose essentiellement de matériel sédimentaire fragmenté pro-

venant du supergroupe de Beacon sous-jacent, et est interprété comme étant le dépôt d'une avalanche de débris (Reubi et autres, 2005). En majorité, les mégablocs dans m_1 sont issus de la formation triasique de Lashly, dont certaines parties n'étaient probablement que faiblement consolidées au Jurassique. Les brèches à fragments de grès dominant en volume par rapport aux mégablocs à l'intérieur du membre m_1 . Cela implique une fragmentation intense et relativement uniforme de la masse en mouvement et prend en compte la nature relativement homogène et friable des matériaux concernés. L'avalanche s'est répandue dans une dépression topographique préexistante creusée dans la séquence Beacon et, d'après les indi-

Figure 1
Carte de localisation.



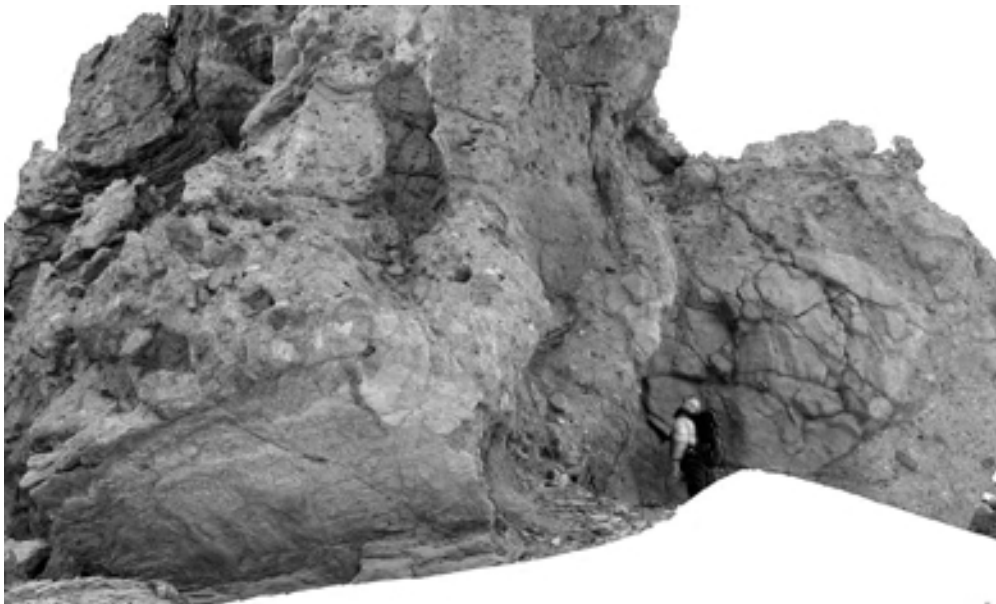
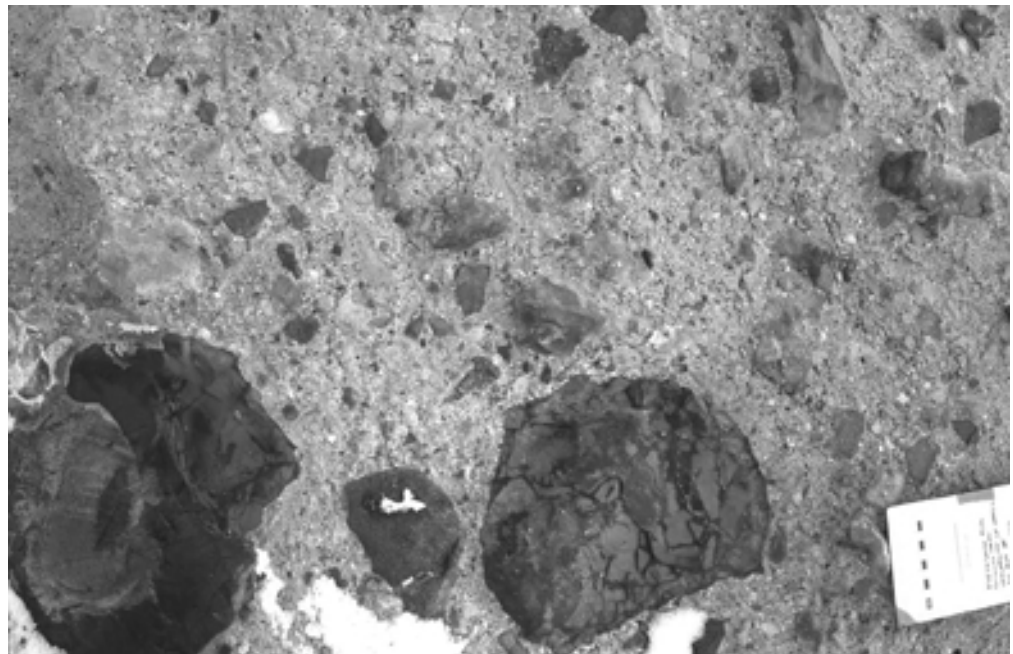


Figure 2

Roches de Mawson m_1 interprétées comme constituant un dépôt d'avalanche de débris dans le centre de Allan Hills. Le gros bloc derrière la personne est basaltique, tandis que celui situé à quelques mètres à gauche est du grès du supergroupe de Beacon. Dans la plus grande partie de m_1 , on trouve moins de basalte que ce qui est illustré ici (photo gracieuseté de O. Reubi).

Figure 3

Photo de roches de Mawson m_2 (sud de Allan Hills) interprétées comme étant des dépôts lithifiés de coulées pyroclastiques. L'échelle sur le carnet de notes est graduée en centimètres.



cateurs d'écoulement, le mouvement aurait été vers le nord-est. L'existence de mégablocs basaltiques globulaires épars (Fig. 2) laisse penser que les intrusions de Ferrar ont joué un rôle dans le déclenchement de l'avalanche.

Le membre m_2 , qui est exposé tant au centre qu'au sud de Allan Hills, est formé surtout de couches volcanoclastiques

basaltiques de plusieurs mètres d'épaisseur qui entrent dans trois grandes catégories : i) lapilli-tuf grossiers et tuf-brèche mal triés (Fig. 3); ii) couches à blocs; iii) tuf et lapilli-tuf fins. Le premier type de couche représente des dépôts de coulées pyroclastiques qui se sont probablement formés pendant l'effondrement de panaches éruptifs phréatomagmatiques (Ross et

White, 2005b). Les couches à blocs, plus rares, se sont probablement formées par une combinaison de retombées pyroclastiques (blocs balistiques d'origine locale) et de coulées pyroclastiques. Les couches à granulométrie plus fine et les lapilli accréionnaires ($\leq 4,5$ cm) résultent de courants de densité pyroclastiques à faible concentration. Les couches épaisses que nous venons de décrire reposent sur de minces couches volcanoclastiques similaires à celles que l'on trouve dans les *tuff rings* et sont interlitées à celles-ci. Tout cet ensemble repose sur des zones de tuf-brèche et de lapilli-tuf riches en basalte, qui recourent l'ensemble.

Remerciements

Pierre-Simon Ross a obtenu la bourse d'études sur l'Antarctique Sir Robine Irvine d'Antarctica New Zealand et des bourses de doctorat de l'Université d'Otago et du Fonds québécois de recherche sur la nature et les technologies. Antarctica New Zealand a offert le soutien logistique à la recherche et les coûts afférents ont été défrayés par une subvention de recherche de l'Université d'Otago à J.D.L. White.

Références

- Reubi, O., P.-S. Ross et J.D.L. White, 2005. Debris avalanche deposits associated with large igneous province volcanism: an example from the Mawson Formation, central Allan Hills, Antarctica. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 117(11-12), 1615-1628.
- Ross, P.-S. et J.D.L. White, 2003. Éruptions volcaniques discontinues dans un ensemble de cheminées phréatomagmatiques : Coombs Hills, south Victoria Land. *Bulletin du RCRA/RCRC Bull.*, 16, 4-6.
- Ross, P.-S. et J.D.L. White, 2005a. Unusually large clastic dykes formed by elutriation of a poorly sorted, coarser-grained source. *J. Geol. Soc.* [Londres], 162(4), 579-582.
- Ross, P.-S. et J.D.L. White, 2005b. Mafic, large-volume, pyroclastic density current deposits from phreatomagmatic eruptions in the Ferrar large igneous province, Antarctica. *J. Geol.*, 113(6), 627-649.
- Ross, P.-S. et J.D.L. White, 2006. Debris jets in continental phreatomagmatic volcanoes: a field study of their subterranean deposits in the Coombs Hills vent complex, Antarctica. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 149(1-2), 62-84.

Pierre-Simon Ross (p_s_ross@hotmail.com) est titulaire d'une maîtrise en sciences de la Terre de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et d'un doctorat en géologie de l'Université d'Otago, Nouvelle-Zélande. James D.L. White est professeur en volcanologie et sédimentologie à l'Université d'Otago (Nouvelle-Zélande). Olivier Reubi travaille actuellement à l'Université de Lausanne, en Suisse, et a pris part aux recherches sur l'Antarctique à l'Université d'Otago en tant que boursier post-doctoral, à l'achèvement de son doctorat à l'Université Monash, en Australie.

Outils de biorestauration des sols sub-antarctiques exposés aux hydrocarbures pétroliers

Daniel Delille¹, Émilien Pelletier², Frédéric Coulon¹, George Feller³ et Bruno Delille⁴

Introduction

Dans les régions de haute latitude, l'activité humaine dépend lourdement des combustibles fossiles, qu'il s'agisse des transports, de la production d'énergie ou de chauffage pour les stations de recherche ou d'élargir la gamme des activités de ceux qui font du tourisme ou cherchent l'aventure en nature sauvage. Parmi les nombreux types différents de contamination

signalés jusqu'à maintenant dans l'océan austral, sur le continent antarctique lui-même et sur les îles sub-antarctiques, les hydrocarbures pétroliers sont ceux qui posent le problème le plus important et le plus urgent. L'échouage des navires d'approvisionnement *Nella Dan* et *Bahia Paraiso*, près de l'île Macquarie et de la péninsule antarctique, respectivement, ont fait ressortir la nécessité de travaux de recherche sur la conta-

mination par hydrocarbures des écosystèmes de l'océan austral.

La biorestauration est une procédure de terrain visant à accroître le rythme de dégradation naturelle des contaminants. La biodégradation, qui se produit naturellement en présence de populations microbiennes, est l'un des grands mécanismes d'élimination du pétrole dans l'environnement (bioatténuation). Toutefois, dans certains milieux particulièrement rigoureux, les conditions environnementales limitent la présence ou l'efficacité de ces consortiums dégradateurs naturels. En pareil cas, certaines techniques peuvent être appropriées, notamment la biostimulation ou la bioaugmentation. La première consiste à ajouter des produits chimiques, par exemple des matières nutritives (notamment, nitrates, ammonium, phosphates et/ou oxygène) ou des surfactants, afin de stimuler la flore naturelle, tandis que la seconde technique consiste à ajouter des organismes exogènes ayant des capacités de dégradation du pétrole, de

façon à augmenter le rendement de la microflore naturelle. On peut également appliquer des procédures analogues sur place après excavation et traitement des sols ou sédiments contaminés (biopiles).

Même si la biorestauration peut s'avérer efficace et économique comme solution de rechange aux traitements physiques et chimiques des sols contaminés, applicable à grande échelle dans les régions antarctiques et sub-antarctiques, on en sait peu sur les mécanismes de biodégradation des hydrocarbures et les taux de restauration en environnements froids, particulièrement dans les îles sub-antarctiques et le continent antarctique. L'objectif général de la collaboration en recherche des

Figure 1

Vue aérienne de la station scientifique Alfred Faure (île Crozet) où l'on voit une zone contaminée par du combustible diesel (encerclée) quelques semaines après le déversement de 1997 (photo : D. Delille).



Laboratoires Arago de France et de l'ISMER du Canada, amorcée au début des années 1990, est de mettre au point de nouveaux outils de biorestauration pour les sols et sédiments contaminés par le pétrole brut, le mazout diesel et les résidus pétroliers, en utilisant des assemblages bactériens et fertilisants originaux inoffensifs pour les environnements austraux originels.

Étude de cas sur l'île Crozet

Entre juillet et novembre 1997, près de la station scientifique Alfred Faure (51°51'E-46°25'S), s'est produit un accident entraînant une contamination par plus de 20 000 L de combustible diesel sur l'île Crozet (Fig. 1). Par comptage, on a décelé, après deux ans, des concentrations très élevées de microorganismes dégradateurs des hydrocarbures dans la zone la plus contaminée, signe manifeste d'une activité de bioatténuation. Après cinq ans, sans la moindre participation ou intrusion humaine, une bonne partie de la zone de déversement du mazout diesel était encore contaminée (Delille et Pelletier, 2002). Dans les sols sub-antarctiques, les températures atmosphériques supérieures à 20°C sont très éphémères et ne se produisent que pendant l'été austral. En règle générale, la tem-

pérature se situe entre -2°C et 15°C. Ces conditions influent fortement sur les taux de dégradation microbienne et exigent une forte adaptation de la flore microbienne au froid. Nombre de questions se posent concernant l'applicabilité d'une démarche de biorestauration en régions froides. Afin d'évaluer l'efficacité du lent processus de bioatténuation en cours à Crozet, nous avons amorcé en juillet 2001 une étude sur le terrain. La zone contaminée fait transition entre une terre nue aride (en amont) et une terre humide végétalisée (en aval). Nous avons implanté solidement six parcelles expérimentales (0,75 x 0,75 m) dans chacune des deux parties de la zone contaminée et certaines ont été traitées à l'Inipol® (Elf Atochem), un fertilisant à libération lente. Dans le but de relever la température, nous avons couvert d'une feuille de plastique la moitié d'entre elles. Nous avons procédé à l'échantillonnage de toutes les parcelles sur deux ans pour mesurer le nombre total de bactéries et le nombre de bactéries hétérotrophes et décomposant les hydrocarbures. Nous avons prélevé des échantillons de sols pour établir une évaluation chimique de la dégradation des hydrocarbures. Le dénombrement de la flore microbienne hétérotrophe et dégradant les hydrocarbures a permis de constater



Figure 2
Biopiles expérimentales. De la
visite, un éléphant de mer juvénile
(photo : D. Delille).

une réaction importante des communautés microbiennes du sol sub-antarctique à la contamination par le combustible diesel. Par contraste, l'abondance bactérienne totale était approximativement constante dans les mêmes conditions. D'après les données biologiques et chimiques, il semblerait que l'augmentation de la température et l'ajout d'engrais puissent améliorer le taux de biodégradation du combustible diesel. Toutefois, nous avons constaté des différences importantes entre les deux zones contaminées distinctes. L'effet stimulant de la biorestauration a été plus marqué dans la zone humide que dans la zone sèche (Delille et autres, sous presse). D'autres échantillonnages des sites d'étude sont prévus au cours des trois prochaines années de façon à réunir des données de terrain supplémentaires à long terme et à confirmer nos constatations initiales.

Expérience pratique sur place

Nous avons amorcé en décembre 2000 une étude de terrain dans deux parcelles de sol sélectionnées de la Grande Terre (archipel de Kerguelen, près de Port-aux-Français, 69°42'E-49°19'S), de façon à préciser les effets à long terme de l'ajout d'engrais sur le taux de biodégradation et la toxicité des résidus pétroliers dans les conditions rigoureuses de la région sub-antarctique. Deux sols ont été sélectionnés : sur le premier prospérait une abondante couverture végétale, tandis que le second était désertique, sans la moindre plante et à faible teneur en carbone organique. Nous avons aménagé sur l'un et sur l'autre deux ensembles de cinq enceintes expérimentales (0,75 x 0,75 m). Après enlèvement de la végétation de surface, nous avons contaminé les sols par application superficielle directe de pétrole brut ou de combustible diesel. Chaque parcelle a reçu 500 mL de combustible diesel ou de brut léger arabe et certaines ont été traitées à l'aide de l'agent biorestaurateur Inipol®. Dans le premier ensemble d'enclos, le sol était en contact direct avec l'atmosphère, tandis que dans le second, il était protégé par une feuille plastique noire placée directement sur le sol et un couvercle de plastique transparent à 10 cm au-dessus du sol, cloué aux parois. Nous avons pu, par

échantillonnages périodiques, faire des relevés suivis de la population bactérienne totale, saprophyte et dégradatrice des hydrocarbures, de la composition et de la toxicité des hydrocarbures. Nous avons fait l'échantillonnage de toutes les parcelles sur une période de quatre ans. Au cours de l'expérience, les températures moyennes au sol variaient de 0°C en hiver à 20°C l'été. Les températures étaient toujours plus élevées dans les sols couverts que dans les sols non couverts. L'augmentation moyenne annuelle de la température était de +2,2°C. Le dénombrement bactérien total ne dénotait pas de grandes différences entre les zones vierges et les zones contaminées, mais une réaction importante d'un plus grand nombre de communautés bactériennes spécifiques à la contamination par le combustible diesel a pu être observée. Dans tous les enclos traités, au cours du premier mois de l'expérience, nous avons observé une augmentation de deux ordres de grandeur des microorganismes hétérotrophes et dégradateurs des hydrocarbures. Avec des valeurs allant de 5×10^5 à 2×10^6 NPP mL⁻¹, les bactéries dégradatrices des hydrocarbures présentes dans les sols vierges ne représentaient jamais plus de 0,5 % de l'assemblage bactérien total. Après neuf mois, cette proportion dépassait dans certains cas 50 %. La réaction microbienne a été amplifiée par des traitements de biorestauration. Toutefois, l'ajout d'engrais a eu plus de répercussions sur le sol désertique que sur la zone végétalisée. Tous les indices chimiques indiquaient une réduction des alcanes et des hydrocarbures aromatiques légers. Les taux de dégradation des hydrocarbures pétroliers totaux (HPT) dans les parcelles amendées étaient plus élevés que dans les parcelles non amendées. Après un an, nous avons observé une forte dégradation des hydrocarbures (plus de 90 %) dans toutes les parcelles. La baisse des concentrations de HPT était toujours plus accusée dans les parcelles couvertes que dans les autres. Après un an de restauration, les concentrations résiduelles de HPT étaient inférieures à la moitié des valeurs correspondantes dans les sols non couverts (Delille et autres, 2004). Les résultats aux épreuves de toxicité indiquaient une forte variabilité entre traitements et conditions environnementales. Il est évident que la réaction microbienne a été rapide et efficace malgré les dures conditions météorologiques et que le taux de

dégradation a été augmenté grâce aux traitements de biorestauration. Toutefois, après un an de traitement, les deux types de sols conservaient un niveau relativement élevé de toxicité des résidus pétroliers (établi par une épreuve Microtox en phase solide). D'après nos résultats, les basses températures (0°C à 7°C) permettent quand même aux microorganismes indigènes d'effectuer une biodégradation du pétrole, moyennant une stimulation adéquate. En couvrant les sols, nous avons pu obtenir une hausse modeste mais permanente de température de 2°C (moyenne annuelle) des sols de surface et favoriser ainsi la dégradation des alcanes par rapport aux hydrocarbures aromatiques. Ces observations élargissent la gamme des scénarios possibles faisant appel à des concepts et effets régulant la température dans les stratégies de biorestauration des sols sub-antarctiques.

Expériences en mésocosmes

Parallèlement aux expériences de terrain précédentes, nous avons également mené, à Port-aux-Français, des études de mésocosmes à l'aide de sols sub-antarctiques contaminés artificiellement de combustible diesel ou de pétrole brut, dans le but d'évaluer les effets conjugués de la température, de l'humidité et du recours aux engrais sur les taux de biorestauration. Les expériences ont été entreprises dans des conteneurs de polyéthylène (27 x 24 x 13 cm). Nous avons artificiellement contaminé le sol par application directe de pétrole brut ou de combustible diesel. Pour chaque température d'incubation (4°C, 10°C et 20°C), nous avons retenu trois conditions : contrôle; contaminant seul (100 mL) et contaminant (100 mL) et engrais (50 mL). Les mésocosmes ont été incubés à l'abri de la lumière en conditions aérobiques. Ils ont été homogénéisés deux fois par mois. Nous avons fait l'échantillonnage de tous les mésocosmes périodiquement sur six mois. Dans tous les cas, nous avons observé une dégradation maximale à 10°C. L'ajout de l'agent Inipol® a stimulé à la fois la croissance bactérienne et le taux de biodégradation des HPT. Sans Inipol®, les concentrations résiduelles de HPT pour le combustible diesel étaient

de 25 % à 4°C et de 15 % seulement à 10°C. Les concentrations résiduelles de HPT étaient inférieures dans les mésocosmes amendés (19 % à 4°C, 10 % à 10°C). Les sols ont réagi favorablement aux augmentations de température de 4°C à 20°C et à l'ajout d'un engrais oléophilique commercial contenant de l'azote et du phosphore. Dans les deux cas, nous avons constaté une augmentation de l'abondance de la flore microbienne dégradant les hydrocarbures, de même que de la dégradation des HPT. En règle générale, les alcanes subissaient une dégradation plus rapide que les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques). Après 180 jours, les pertes totales en alcanes dans les deux sols ont atteint de 77 % à 95 %, tandis que la dégradation totale des HAP n'a jamais dépassé 80 % dans des conditions optimales à 10°C avec ajout d'engrais. L'analyse détaillée des naphthalènes, des dibenzothiophènes, des phénanthrènes et des pyrènes a permis de constater une nette diminution de leur taux de dégradation en tant que fonction de la taille des molécules de HAP. Au cours de l'expérience, nous n'avons constaté qu'une légère baisse de la toxicité des sols étudiés, même si la concentration de HPT a diminué de façon marquée dans le même temps. La réduction la plus significative de la toxicité est intervenue à 4°C (Pelletier et autres, 2004).

La biorestauration des sols sub-antarctiques contaminés par les hydrocarbures semble réalisable et diverses stratégies techniques, par exemple chauffage ou amendement du sol, peuvent accélérer la dégradation des hydrocarbures. Toutefois, la toxicité résiduelle des sols contaminés est demeurée considérablement élevée avant que la dépollution souhaitée ne soit apparemment terminée et cela peut constituer un facteur limitatif à la biorestauration des sols sub-antarctiques (Coulon et autres, 2005).

Expériences de biopiles

Nous avons effectué des expériences à l'aide de biopiles (appelées également biomonticules) dans douze conteneurs de polyéthylène (31 x 26 x 36 cm). Nous avons placé dans chaque conteneur des échantillons de sol (3,5 kg) sur un agrotexile fixé à 15 cm au-dessus du fond. Les conteneurs ont été placés

en deux rangées à l'extérieur du laboratoire de biologie de la station Port-aux-Français (Fig. 2). La teneur hydrique de tous les sols a été maintenue constante par l'ajout périodique d'eau stérile. Le premier ensemble, composé de trois biopiles contenant respectivement du sol de contrôle non contaminé, du sol contaminé non amendé (200 mL de combustible diesel) et du sol contaminé amendé (200 mL de diesel, 50 mL d'Inipol®) n'a reçu aucun traitement. Un deuxième ensemble analogue a fait l'objet d'un traitement de « biorégénération » (aération hebdomadaire du sol), tandis qu'un troisième était soumis à une ventilation permanente à la température ambiante. Nous avons fixé des conduites de ventilation entre le sol et le fond des conteneurs. Nous avons soumis un quatrième ensemble à une ventilation chaude permanente (10°C au-dessus de la température ambiante). Conformément à ce que nous avons observé dans les expériences sur les mésocosmes, nous avons toujours constaté une hausse importante des bactéries saprophytes et dégradatrices des hydrocarbures après l'ajout de combustible diesel. La biostimulation, par ajout d'engrais, a toujours induit une très forte hausse des populations bactériennes saprophytes et dégradatrices des hydrocarbures. Par contre, aucun des trois autres traitements de biorestauration utilisés (biorégénération, ventilation froide et ventilation chaude) n'ont pu augmenter les populations bactériennes saprophytes. Les résultats sont plus prometteurs en ce qui a trait aux bactéries spécifiques aux hydrocarbures. La biorégénération a provoqué des augmentations importantes des populations bactériennes dégradatrices des hydrocarbures, dans les sols tant amendés que non amendés. La thermoventilation n'a eu aucun effet positif dans les sols non amendés, mais a induit un développement spectaculaire des bactéries dégradatrices des hydrocarbures dans les sols amendés. Ces expériences pilotes de biopiles ont confirmé qu'un réchauffage constant du sol accélérerait la biorestauration des sols sub-antarctiques contaminés au diesel. En outre, la réaction microbienne s'est avérée toujours meilleure par l'ajout d'un engrais complémentaire (Delille et autres, sous presse).

Conclusion

Les résultats obtenus dans les trois projets concordent bien. L'introduction de combustible diesel dans le sol sub-antarctique entraîne un enrichissement en microorganismes saprophytes et dégradateurs d'hydrocarbure dans tous les cas. Malgré le faible niveau de contamination, dans toutes ces expériences de biorestauration, l'abondance de bactéries dégradatrices des hydrocarbures observée après biorestauration était, dans certains cas, du même ordre de grandeur que celui observé après la contamination au mazout lourd sur l'île Crozet ($>108 \text{ NPP mL}^{-1}$). L'augmentation observée de l'assemblage dégradateur des hydrocarbures après contamination est un indice clair des activités de bioatténuation, ce que confirme la diminution observée des concentrations d'hydrocarbures au cours des expériences. Notre étude du sol sub-antarctique a confirmé l'efficacité de l'ajout d'engrais pour la biodégradation des hydrocarbures. Parmi les autres paramètres régissant cette biodégradation des hydrocarbures, la température est généralement considérée comme l'un des facteurs les plus importants dans les environnements situés sous des latitudes élevées. Nos expériences sur place à l'aide de sols couverts de feuilles de plastique ont fait ressortir une augmentation annuelle moyenne de température de +2°C seulement et le fait de couvrir le sol a entraîné une diminution importante du délai nécessaire pour atteindre les objectifs de biorestauration. Les études à l'aide de mésocosmes et les expériences sur les biopiles ont confirmé qu'une hausse de température peut stimuler la biodégradation des HPT. Les microorganismes indigènes dégradateurs des hydrocarbures dans les sols sub-antarctiques ont montré leur forte capacité de biorestauration, moyennement stimulation. Il faut toutefois user de prudence si l'on compte extrapoler les résultats de ces expériences à des conditions environnementales plus générales. La conception d'un système efficace de biorestauration suscitera une étude prudente des conditions locales, par exemple les propriétés physiques, chimiques et microbiennes des sols contaminés, ainsi que des conditions météorologiques.

Travaux futurs

Notre prochain programme de recherches pluriannuel est l'application pratique des connaissances acquises antérieurement sur le terrain et en laboratoire. Plus précisément, nous comptons :

- créer et perfectionner des protocoles de bioaddition en environnements confinés en utilisant des souches australes déjà isolées par l'équipe de l'Université de Liège, en Belgique;
- évaluer le rendement de ces souches du point de vue microbiologique (viabilité et taux de croissance) et chimique (biodégradation des hydrocarbures);
- évaluer estimativement les effets des engrais ajoutés (Inipol® et nouvelles formulations) sur le comportement des souches sélectionnées, particulièrement sur leur capacité d'éliminer la toxicité résiduelle généralement observée à la fin du traitement (par l'équipe canadienne ISMER/UQAR);
- établir avec quelle rapidité les populations microbiennes peuvent revenir à leur structure naturelle après la dégradation de la totalité des hydrocarbures, en effectuant des contrôles bactériologiques et chimiques des sédiments contaminés en 1997 et des sols contaminés en 2001;
- comprendre l'évolution d'un site naturel sans traitement après un déversement, en effectuant des contrôles de la zone contaminée de la station Alfred Faure;
- trouver les composés chimiques potentiellement responsables de la toxicité résiduelle des résidus d'hydrocarbures dégradés;
- travailler à la mise au point d'une épreuve toxicologique originale faisant appel à une ou à plusieurs espèces des sites étudiés.

M. Pelletier se joindra à M. Delille, fin novembre 2005, pour une mission de deux mois à Port-aux-Français, de façon à préparer une expérience de bioatténuation et restauration des sols à l'aide d'un nouvel engrais prometteur contenant de la farine de poisson séché et un surfactant à poids moléculaire élevé. Il installera également un analyseur Microtox® dans le laboratoire de biologie et enseignera à un technicien la façon d'effectuer des épreuves en phase solide des sols et des sédiments contaminés au cours de l'hiver austral 2006.

Aide financière

Aide obtenue par ce programme de recherche : Institut Polaire Français Paul-Émile Victor (IPEV), fournissant le soutien logistique pour les voyages et l'hébergement aux stations de l'Antarctique; subvention annuelle d'exploitation à M. Delille, Chaire de recherche du Canada sur l'écotoxicologie moléculaire en milieu côtier, sous la direction de M. Pelletier, pour les frais de voyage et les frais du laboratoire de chimie, et, pour la Belgique, le programme scientifique de Wallonie pour le laboratoire et les dépenses personnelles de M. Feller.

Références

- Coulon, F., É. Pelletier, L. Gourhant et D. Delille, 2005. Effects of nutrient and temperature on degradation of petroleum hydrocarbons in contaminated sub-Antarctic soil. *Chemosphere*, **58**(10), 1439–1448.
- Delille, D. et É. Pelletier, 2002. Natural attenuation of diesel-oil contamination in a subantarctic soil (Crozet Island). *Polar Biol.*, **25**(9), 682–687.
- Delille, D., F. Coulon et É. Pelletier, 2004. Biostimulation of natural microbial assemblages in oil-amended vegetated and desert sub-Antarctic soils. *Microbial Ecol.*, **47**(4), 407–415.
- Delille, D., É. Pelletier et F. Coulon, sous presse. The influence of temperature on bacterial assemblages during biorestauration of a diesel fuel contaminated sub-Antarctic soil. *Cold Reg. Sci. Technol.* (10.1016/j.coldregions.2005.09.001)
- Pelletier, É., D. Delille et B. Delille, 2004. Crude oil biorestauration in sub-Antarctic intertidal sediments: chemistry and toxicity of oiled residues. *Mar. Environ. Res.*, **57**(4), 311–327.

Affiliations des auteurs

- 1 Observatoire océanologique, Université Pierre et Marie Curie, UMR-CNRS 7621, Laboratoire Arago, 66651 Banyuls-sur-mer Cedex, France.
- 2 Institut des Sciences de la Mer de Rimouski (ISMER), Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec G5L 3A1, Canada (emilien_Pelletier@uqar.qc.ca).
- 3 Laboratoire de Biochimie, Institut de Chimie, B6, Université de Liège, B-4000 Sart Tilman, Belgique.
- 4 Unité d'Océanographie Chimique, MARE, Institut de Physique, B5, Université de Liège, B-4000 Sart Tilman, Belgique.

Photosynthèse en vue: vie du phytoplancton dans les lacs recouverts de glaces des vallées sèches de McMurdo

Rachael M. Morgan-Kiss

J'ai commencé mes travaux sur le phytoplancton adapté au froid comme aspirante au doctorat dans le laboratoire du professeur Norman Hüner (faculté des sciences biologiques, Université Western Ontario). Dans le cadre de ce travail, il fallait élucider les mécanismes d'adaptation d'une espèce de chlorophycée psychrophile, *Chlamydomonas raudensis*, isolée dans la zone biotique la plus profonde du lac Bonney (vallée de Taylor, Antarctique), à l'environnement extrême d'un lac couvert de glaces en permanence où les températures, basses toute l'année, se combinent à un environnement extrême obscur à caractéristiques d'éclairage inhabituelles (bleu-vert). La couverture de glaces pérennes empêche en outre le mélange vertical de la colonne d'eau, ce qui génère un écosystème très stable, stratifié verticalement.



Figure 1
R. Morgan-Kiss et Marie Sabacka (à gauche) forant un trou dans les 6 m de glace couvrant le lac Fryxell.



Figure 2
Prête à contrôler le RPA et la fluorescence de Chl au lac Hoare.

L'une des nos premières observations pendant les expériences contrôlées en laboratoire a été le fait que cette psychrophyle ne disposait pas du mécanisme important de réponse de photoacclimation commun aux chlorophycées mésophiles, c'est-à-dire l'aptitude à réguler et à réduire la capacité de captage de la lumière lorsque exposée à un régime de croissance en basse température combinée à un éclairage élevé. Cette diminution vers le bas de la fonction de photosynthèse est accompagnée par des adaptations marquées de la pigmentation des algues mésophiles (notamment *Chlorella vulgaris*, Fig. 3) en éclairage faible (EF) comparativement à un éclairage élevé (EE). Il est évident que les cultures de *C. raudensis* de l'Antarctique ne connaissent pas d'ajustement comparable de pigmentation lorsqu'elles sont exposées à des régimes d'éclairage analogue. Dans des études ultérieures, nous avons montré, par des analyses fonctionnelles et structurales, que l'organisation de l'appareil de photosynthèse de cette algue énigmatique était considérablement altérée comparativement à ses consœurs mésophiles. De plus, selon deux rapports récents, *C. raudensis* ne possède pas le mécanisme hautement conservé d'acclimation à court terme par transitions d'état, en plus de sa déficience d'acclimation et de croissance en environnement de lumière rouge. Ces études font ressortir le fait que cette algue psychrophile dispose de stratégies de photoadaptation uniques pour prospérer dans l'environnement lacustre de la vallée sèche. Toutefois, le prix de l'adaptation à un environnement naturel invariable signifie qu'elle a perdu plusieurs mécanismes de photoacclimation.

Au cours de cet été austral (octobre à décembre 2005), j'ai eu l'occasion unique de voir des populations naturelles de *C. raudensis* en accompagnant le groupe de recherches McMurdo (MCM) LTER du professeur John Prisco (département des ressources terrestres et des sciences de l'environnement, Université d'État du Montana) dans les lacs de la vallée de

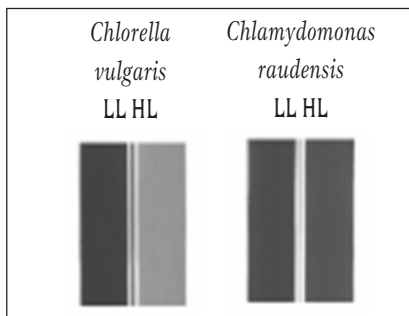


Figure 3
Effet du régime d'éclairage de croissance à basses températures sur la pigmentation dans les cultures d'une algue mésophile type (*C. vulgaris*) et sur la psychrophile antarctique, *C. raudensis*.

Taylor, dans les vallées sèches de l'Antarctique. Ma contribution au groupe MCM LTER consistait à améliorer les méthodes courantes d'évaluation de la biodiversité des populations de phytoplancton du lac Bonney, ainsi que des lacs Fryxell et Hoare, en validant un nouvel instrument, la sonde FluoroProbe bbe (bbe Moldaenke GmbH, Allemagne). Le principe de ce spectrofluoromètre repose sur les caractéristiques différentielles des spectres, sous excitation par fluorescence, des pigments accessoires collecteurs de lumière de quatre grands groupes d'algues (chlorophycées, cyanobactéries, diatomées et cryptophytes). Les estimations initiales de dénombrement du phytoplancton par la sonde FluoroProbe ont été très prometteuses et indiquaient une diversité et une stratification marquées des classes d'algues. Ces données préliminaires sont très intéressantes et je travaille actuellement avec le professeur Thomas Hanson, à l'Université du Delaware, à confirmer les résultats par des analyses indépendantes de la biodiversité du phytoplancton au niveau de la phylogénétique, de même que par une analyse de la pigmentation et des esters méthyliques d'acides gras. Nous espérons qu'en parachevant à la fois l'ana-

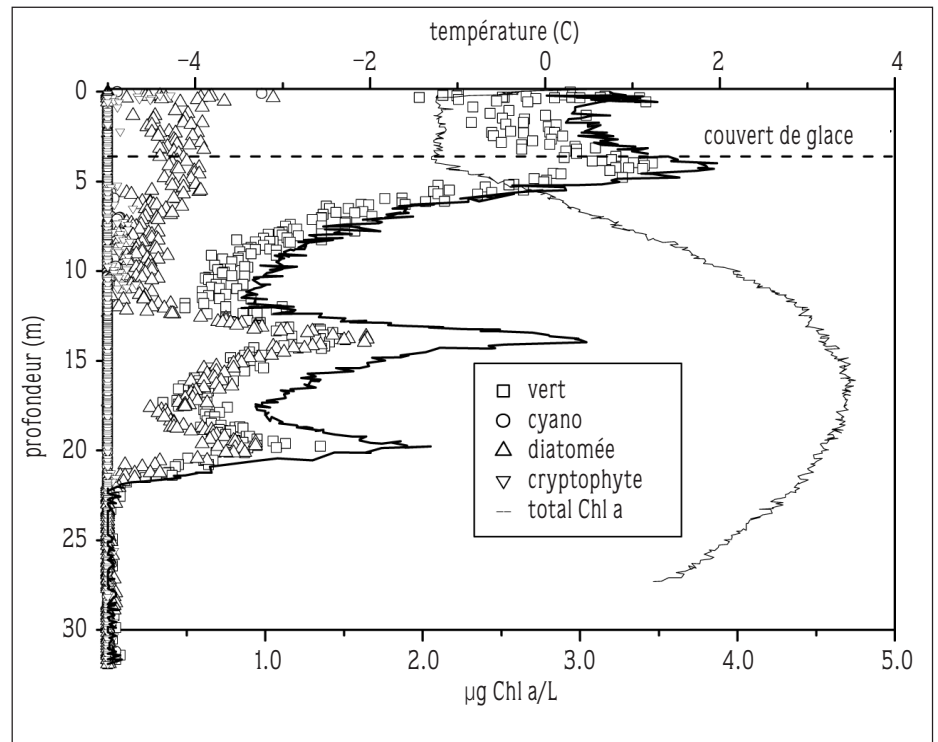


Figure 4
Profil des classes spectrales de phytoplancton du lac Bonney. Ces catégories d'algues ont été établies estimativement à l'aide d'une sonde FluoroProbe bbe et identifiées par les empreintes caractéristiques du spectre des membres représentatifs sous excitation par fluorescence.

lyse phylogénétique et la caractérisation des biomarqueurs lipidiques et pigmentaires, nous obtiendrons, outre la validation indépendante de la sonde FluoroProbe bbe comme nouveau moyen précis et viable d'évaluation de la diversité des catégories d'algues dans les lacs de vallées sèches, un nouvel éclairage sur l'adaptation des mécanismes de photosynthèse et la composition des membranes des populations d'algues naturelles prospérant dans cet écosystème extrême.

R. Morgan-Kiss a grandi sur l'île de Vancouver, où elle a obtenu un baccalauréat en Sciences de l'Université de Victoria. Elle a terminé son doctorat avec le professeur Norman Hüner (faculté des sciences biologiques, Université Western Ontario). Elle est actuellement adjointe de recherche au Delaware Biotechnology Institute, Université du Delaware (rkiss@life.uiuc.edu).

La Légine antarctique, système modèle de biologie oculaire

Andor Kiss

J'ai commencé ma recherche doctorale au cours de l'été austral de 1999 à McMurdo Sound, sous la supervision du professeur Arthur DeVries (département de biologie animale, Université de l'Illinois à Urbana-Champaign). J'étudiais la stabilité au froid des protéines du cristallin de l'œil de la légine antarctique (*Disostichus mawsoni*). Ce poisson de la famille des perciformes appartient au sous-ordre des Notothéniidés et est endémique des eaux côtières de l'océan austral. C'est un poisson de grande taille, atteignant souvent 1 m de longueur et pesant de 34 à 55 kg et qui peut vivre jusqu'à 50 ans. Puisque la température moyenne annuelle de l'eau de l'océan austral est de -2°C ou proche du point de congélation de l'eau de mer, la légine manifeste des adaptations biochimiques et physiologiques au froid. L'adaptation la plus remarquable et la plus évidente est l'évolution d'une microprotéine antigél transportée par le sang et qui empêche le poisson de geler.

Auparavant, le cristallin de la vache était le plus souvent utilisé pour modéliser la cataracte de l'œil humain. On entend par cataracte tout état du cristallin diminuant la quantité ou la qualité de la lumière, sans égard à l'étiologie. On estime que plus de 50 % de la population américaine des 65 ans et plus présentera une forme ou une autre de cataracte sénile ou apparaissant à l'âge mûr. Le cristallin de la vache subit une cataracte réversible due au froid en cas de refroidissement par rapport à la température corporelle ($\sim 37^{\circ}\text{C}$) à $\sim 10^{\circ}\text{C}$. Chez la vache, une γ -cristalline, l'un des trois principaux groupes (α , β , γ) de cristallines de l'œil des vertébrés a été identifiée comme une des principales causes de cette cataracte de froid. Ajoutons qu'on a observé plusieurs cas de cataractes humaines congénitales résultant d'une mutation ponctuelle dans la γ -cristalline. Ainsi, la cataracte de froid chez la vache peut servir à modéliser les cataractes humaines d'origine thermique ou non thermique. Contrairement aux mammifères ectothermiques, le cristallin de la légine est absolument transparent à la température environnementale normale avoisinant le gel, soit -2°C .

Puisque ce poisson vit toujours dans ce froid et qu'il possède de grands cristallins, il offre une occasion unique d'étudier la stabilité au froid des cristallines des vertébrés.

Nous avons pu établir que le cristallin de la légine se compose de cristallines très analogues à celles de la plupart des vertébrés, humains compris. Plus précisément, nous avons établi que la stabilité au froid du cristallin de la légine peut être largement attribuée à sa γ -cristalline (*J. Exp. Biol.*, 207(26), 2004, 4633-49). Par la suite, nous avons établi que, dans le cristallin

Bob Teuscher (à gauche) et l'auteur (à droite) sortant une légine dans une cabane de pêche sur la glace de mer, McMurdo Sound, automne 1999.



Année polaire internationale (2007–2008)

de la légine, il y a une abondance beaucoup plus riche de protéines γ -cristallines et d'ADNc qu'on ne l'avait antérieurement signalé pour les vertébrés terrestres bien caractérisés.

Les analyses biochimiques et fonctionnelles plus poussées ont montré que la stabilité au froid, les niveaux d'expression et l'abondance d'ARNm diffèrent selon les γ -cristallines exprimées à l'intérieur du cristallin de la légine. En collaboration avec J. Sam Zigler (National Eye Institute, NIH, É.-U.-A.), nous utilisons le procédé de désorption-ionisation par impact laser assistée par matrice à temps de vol (MALDI-TOF) avec électrophorèse 2-D sur gel de polyacrilamide (2D PAGE) pour identifier les γ -cristallines candidates qui sont les principales responsables de la stabilité au froid du cristallin de la légine.

L'objectif ultime est de comprendre la façon dont les changements subtils dans ces γ -cristallines conservées ont influé sur leur stabilité à long terme à basses températures. En établissant quels sont les aspects essentiels à la stabilité des protéines du cristallin de la légine, nous pourrions être à même de transposer ces connaissances pour prévenir l'instabilité des γ -cristallines humaines, et ainsi empêcher les cataractes.

Andor Kiss est diplômé en biochimie et microbiologie de l'Université de Victoria et a obtenu ensuite une maîtrise en sciences de l'Université Western Ontario. Il vient de terminer son doctorat avec le professeur Arthur DeVries (Université de l'Illinois à Urbana-Champaign). En janvier 2005, il a entrepris une bourse de recherches post-doctorales avec le professeur Melinda Duncan (Université du Delaware) et étudie l'expression développementale des gènes des cellules épithéliales et des cristallines du cristallin.

Voici une liste des expressions d'intérêt canadiennes pour l'API ayant une incidence importante pour l'Antarctique (liste par n° d'Ei) tirées du site Web du bureau du programme international de l'API (www.ipy.org). Pour suivre les autres événements touchant l'API, veuillez consulter le site Web canadien de l'API (www.ipy-api.gc.ca) ou celui du secrétariat canadien pour l'API (www.ipy-api.ca).

- 132: Biorestauration des sols et sédiments contaminés près des stations scientifiques dans les régions polaires (Émilien Pelletier, ISMER/UQAR)
- 321: Apports atmosphériques de mercure dans l'océan polaire : taux, importance et perspectives (Dolores Planas, UQAM)
- 462: Base de données sur les publications de l'API canadienne (Ross Goodwin, ASTIS, Université de Calgary)
- 465: Mission antarctique (Jean Lemire, Glacialis TV, Montréal)
- 528: Interactions océan-fonds marins-glaces dans les mers d'Amundsen et de Bellingshausen (David Holland, Université McGill)
- 631: Contamination au mercure des régions polaires (David Lean, Université d'Ottawa)
- 642: Les répercussions du changement climatique sur le cycle biogéochimique du carbone, des nutriments et du méthylmercure dans les régions polaires (Vincent St. Louis, Université de l'Alberta)
- 645: Infrastructure de données spatiales pour les sciences polaires: cadre d'organisation et de diffusion (Fraser Taylor, Université Carleton)
- 650: Programme canadien de recherches antarctiques (PCRA) (Wayne Pollard, Université McGill)
- 652: Données géophysiques fondamentales pour étudier les changements en Antarctique (Calvin Klatt, Ressources naturelles Canada)

- 655: Restauration des sols polaires pollués par des contaminants organiques (John Poland, Université Queen's)
- 661: Mise au point d'un bioréacteur polaire pour la production de substances bioactives au moyen de microalgues indigènes et de cyanobactéries (Susan Boyd Watson, INRE, Burlington)
- 678: Enquête sur place des climats polaires à l'aide d'un réseau de capteurs distribués (Brendan Quine, Université York)
- 711: Transport biologique de contaminants d'origine anthropique dans les écosystèmes polaires: perspective paléo-environnementale (Marianne Douglas, Université de Toronto)
- 720: Expérience de chimie atmosphérique (ACE) (Peter Bernath, Université de Waterloo)
- 807: Structure et évolution des vortex polaires stratosphériques au cours de l'API et liens avec la troposphère (Norman McFarlane, SPARC IPO, Université de Toronto)
- 849: Sensibilité latitudinale des sols aux impacts d'origine anthropique (Steven Siciliano, Université de Saskatchewan)
- 870: Passerelle des sciences polaires de RADARSAT (Paul Briand, Agence spatiale canadienne)
- 962: Processus à médiation virale dans les mers polaires (Curtis Suttle, Université de Colombie-Britannique)
- 976: Le carbone dans les glaces de mer: flux et biogéochimie (Lisa Miller, Pêches et Océans Canada)
- 1028: Les extrémités de la Terre: de l'ours polaire aux pingouins. Exposition itinérante de Science North, Sudbury (Ontario) (Jennifer Pink, Science North)
- 1056: Identification et quantification des espèces mercuriennes formées pendant les événements d'appauvrissement du mercure atmosphérique polaire (Julia Lu, Ryerson)
- 1095: Vulnérabilité des environnements de forage de la glace (Wayne Pollard, Université McGill)

Les nouvelles en bref

Kevin Hall (UNBC) a accompagné l'équipe du programme italien travaillant sur la météorisation des roches dans la région de Terra Nova, d'octobre jusqu'à décembre 2005.■

Le CSRA a maintenant des plans de mise en œuvre de ses cinq nouveaux programmes de recherche scientifique: évolution du climat antarctique (ACE); environnement des lacs sub-glaciaires de l'Antarctique (SALE); évolution et biodiversité dans l'Antarctique (EBA); l'Antarctique et le système climatique mondial (AGCS); effets de la conjugaison interhémisphères dans les systèmes soleil-terre et aéronomie (ICESTAR) (voir www.scar.org/researchgroups).■

Publication de l'Academic Press: *The Physiology of Polar Fishes* 22. Cet ouvrage est publié sous la direction d'**Anthony Farrell**, professeur et titulaire de la Chaire sur l'aquaculture durable au Centre de recherche en aquaculture et en environnement DFO UBC de l'Université de la Colombie-Britannique et John Steffensen de l'Université de Copenhague (voir www.elsevier.com/locate/ISBN/0123504465).■

Garry K.C. Clarke (UBC) et **Warwick Vincent** (Laval) sont membres du comité de la National Academy of Sciences des États-Unis sur les principes de l'intendance environnementale et scientifique pour l'exploration et l'étude des environnements lacustres sub-glaciaires.■

Evgeny Pakhomov, qui possède quelque 22 ans d'expérience de chercheur dans l'océan austral, s'est joint à la faculté des sciences de la Terre et des océans de l'Université de la Colombie-Britannique. Il participe actuellement à un projet de GLOBEC avec des chercheurs allemands de l'Institut Alfred Wegener, avec certaines collaborations de British Antarctic

Survey. C'est un écologiste marin travaillant à la fois sur les invertébrés et le poisson.■

Contributions canadiennes récentes à la science antarctique et bipolaire. Le manque de place nous a empêchés de publier cette rubrique. Nous espérons fournir une liste consolidée des publications des chercheurs canadiens touchant l'Antarctique sur le site Web de la CCAP plus tard au cours de l'année. Le lecteur peut transmettre au rédacteur les renseignements de publication qu'il souhaite voir publiés.■

Prochaines réunions. La CCAP tient à jour une liste regroupée des prochaines réunions intéressant les chercheurs polaires. Le lecteur peut consulter la rubrique Événements sur le site www.polarcom.gc.ca.■

Membres et conseillers du CCAR/CCRA

Wayne Pollard (président)
Département de géographie
Université McGill
805, rue Sherbrooke Ouest
Montréal (Québec) H3A 2K6
Tél. (514) 398-4454
Télé. (514) 398-7437
pollard@felix.geog.mcgill.ca

Kathy Conlan
Musée canadien de la nature
C.P. 3443, succursale D
Ottawa (Ontario) K1P 6P4
Tél. (613) 364-4063
Télé. (613) 364-4027
kconlan@mus-nature.ca

Serge Demers
Institut des sciences de la mer de
Rimouski (ISMER)
310, allée des Ursulines, C.P. 3300
Rimouski (Québec) G5L 3A1
Tél. (418) 723-1986 x 1651
Télé. (418) 724-1842
serge_demers@uqar.qc.ca

Marianne Douglas
Département de géologie
Université de Toronto
22, rue Russell
Toronto (Ontario) M5S 3B1
Tél. (416) 978-3709
Télé. (416) 978-3938
mstd@geology.utoronto.ca

Martin Sharp
Sciences de la Terre et de
l'Atmosphère
Université de l'Alberta
1-26 Earth Sciences Building
Edmonton (Alberta) T6G 2E3
Tél. (780) 492-4156
Télé. (780) 492-2030
martin.sharp@ualberta.ca

Dave Williams
C/O Astronaut Office
Mail Code CB
Johnson Space Center
2101 NASA Parkway
Houston, Texas
TX 77058, U.S.A.
Tel: (281) 244-8883

Fred Roots (conseiller sur
l'Antarctique, CCAP)
Environnement Canada
351, boul. St-Joseph, 1^{er} étage
Ottawa (Ontario) K1A 0H3
Tél. (819) 997-2393
Télé. (819) 997-5813
fred.roots@ec.gc.ca

Warwick F. Vincent (président sortant)
Département de biologie
Université Laval
warwick.vincent@bio.ulaval.ca

Simon Ommanney (secrétaire du CCRA)
27 Glen Davis Crescent
Toronto (Ontario) M4E 1X6
Tél. (416) 686-6307
simon.ommanney@sympatico.ca



Bulletin du Réseau canadien de recherches antarctiques

Tous droits réservés © Commission canadienne des affaires polaires/ Réseau canadien de recherches antarctique

Rédacteur : C. Simon L. Ommanney

Veuillez envoyer vos contributions et lettres à :
C. Simon L. Ommanney
Rédacteur, Bulletin du RCRA
(adresse à gauche)

Commission canadienne des affaires polaires
Suite 1710, 360, rue Albert
Ottawa, ON K1R 7X7
Tél. (613) 943-8605
Télé. (613) 943-8607
mail@polarcom.gc.ca
www.polarcom.gc.ca/ccarhome.htm

