

Recherche en sciences spatiales au Canada

2004-2005

LE RAPPORT DE L'ASC À LA 36^e ASSEMBLÉE DU COSPAR
BEIJING, CHINE JUILLET 2006





Table des matières

Préface	1
Le COSPAR au Canada	2
Comités consultatifs formant le Comité national canadien (CNC)	3
Aperçu	4
Observation de la Terre	5
Exploration et sciences spatiales	6
Partenariats	7
Faits saillants 2004–2005	8
Astronomie	8
Exploration planétaire	9
Science des relations Soleil-Terre	10
Sciences physiques	11
Sciences de la vie	11
Sciences de l’atmosphère	13
Aperçu par discipline scientifique	14
Observation de la Terre – Sciences de l’atmosphère	14
Exploration et sciences spatiales	19
Astronomie et système solaire	20
Astronomie	20
Exploration planétaire	25
Science des relations Soleil-Terre	29
Sciences physiques et sciences de la vie	34
Sciences physiques	34
Sciences de la vie	37
La chimie de l’atmosphère – Un paysage complexe	42
MOPITT	42
PEARL	43

Des étoiles sous haute surveillance	46
Des étoiles sous haute surveillance	46
De très proches voisins	47
Sur les traces de Galilée.....	49
Comprendre le cycle de l'eau sur Mars	50
Poussières et nuages de glace	51
Préparatifs en vue du lancement	52
Des orages dans l'espace	54
ePOP	54
THEMIS	56
Vivre dans l'espace – Un défi de taille	58
e-OSTEO : prévention de la perte osseuse dans l'espace et sur la Terre.....	58
WISE (Women International Space Simulation for Exploration)	59
La cause de l'anémie	60
Effets cardiovasculaires	61
Du pétrole dans l'espace – Une expérience en microgravité	62
Du pétrole dans l'espace	62
L'évaporation.....	64
Liste des universités	66
Autres ministères et organismes gouvernementaux	78



Préface

Ce rapport, qui sera présenté dans le cadre de la 36^e réunion du COSPAR à Beijing, en Chine, offre un aperçu des activités de recherche que mène le Canada dans le créneau des sciences spatiales, et qui ont été financées ou rendues possibles par l'Agence spatiale canadienne (ASC) en 2004–2005. Établie en 1989, l'ASC est chargée de coordonner, au nom du gouvernement du Canada, tous les programmes et politiques civils liés à la recherche en sciences et technologies dans le domaine spatial.

Le présent rapport, qui s'adresse à un vaste public de passionnés des sciences, a été rédigé de façon que son contenu soit accessible au grand public. Il vise à fournir des informations sur les différentes stratégies guidant l'orientation des activités de l'ASC en sciences spatiales, et à résumer les initiatives et réalisations récentes du Canada dans ce créneau. Il ne s'agit pas d'un examen scientifique détaillé à l'intention des chercheurs.

Ce document a été préparé par les responsables du Programme des sciences spatiales de l'ASC, lequel est chargé de la planification et de la coordination des activités canadiennes touchant aux sciences spatiales. Ces dernières englobent une multitude de sujets, allant d'études sur l'univers, le système solaire et l'espace circumterrestre, à des études sur les processus physiques et biologiques se produisant dans l'espace.

Pour mettre en œuvre le Plan spatial canadien, l'ASC travaille en étroite collaboration avec des intervenants canadiens du secteur privé, des institutions canadiennes de recherche, et d'autres ministères axés sur la recherche, dont Environnement Canada, Ressources naturelles Canada, et le Conseil national de recherches du Canada. L'ASC collabore également avec le ministère de la Défense nationale dans le cadre de ses activités spatiales.

Le rapport est divisé en quatre grandes sections. Les sections « Aperçu » et « Faits saillants » fournissent un résumé de la portée de la Stratégie spatiale canadienne, et présente quelques activités qui ont marqué les années 2004 et 2005 dans le domaine des sciences spatiales. La section « Aperçu par discipline scientifique » propose des détails supplémentaires sur les missions en cours et approuvées touchant aux six disciplines du Programme des sciences spatiales. Cette partie est ensuite suivie d'une série d'articles thématiques qui mettent l'accent sur des projets de recherche particuliers touchant aux divers domaines d'intérêt du Programme. Finalement, le lecteur trouvera à la toute fin une section de référence où sont fournies les coordonnées des personnes-ressources pour les universités canadiennes partenaires.

L'ASC souhaite remercier les personnes suivantes qui ont participé aux entrevues, révisé les textes, et fourni des renseignements sur les projets.

Membres de l'ASC

Alain Berinstain, Nicole Buckley, Madalena Colaço, Marcus Dejmek, Jean Dupuis, Louis Grenier, Victoria Hipkin, Alex Jablonski, Perry Johnson-Green, Denis Laurin, William Liu, John Manuel, Stella Melo, Louis Michon, Thu-Oanh Nguyen, Gordon Osinski, Thomas Piekutowski, et Marcel St-Pierre.

Membres d'organismes partenaires

Peter Bernath, Eric Donovan, James Drummond, Reginald Gorczynski, Richard Hughson, Jaymie Matthews, Ziad Saghir, Edward Shepherd, Peter Taylor, Guy Trudel, Charles Ward, et Andrew Yau.

Recherche et rédaction

Lydia Dotto

Le COSPAR au Canada

Le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) est l'organisme national membre du COSPAR, alors que l'ASC est responsable du Comité national canadien (CNC) lié au COSPAR (Comité pour la recherche spatiale). Le COSPAR est un organisme international qui a été créé par le Conseil international des unions scientifiques (CIUS) en 1957. Aujourd'hui, le CIUS est connu sous le nom de Conseil international pour la science (CIS), qui est un organisme indépendant, sous les auspices de l'UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture), dont le siège social se trouve à Paris, en France. Le Comité consultatif du CNRC sur la science, l'ingénierie et la technologie internationales (COSITI) fournit des conseils au CNRC et à l'ASC pour ce qui touche aux questions liées au COSPAR. Les communications entre le CNC, le COSPAR et le CNRC sont assurées par le Bureau des relations internationales du CNRC. Le CNC est formé de comités consultatifs scientifiques existants qui participent au Programme des sciences spatiales de l'ASC. Gordon Shepherd, directeur du Centre for Research in Earth and Space Sciences (CRESS) de York University, à Toronto, est le représentant du Canada au COSPAR, en plus d'être un membre du Bureau du COSPAR. David Kendall, directeur général du Programme des sciences spatiales de l'ASC, est le président du Comité des finances du COSPAR.

Organisme national membre du COSPAR

Conseil national de recherches du Canada

M^{me} Melanie Cullins

Directrice

Bureau des relations internationales

CNRC – Services intégrés

1200, rue Montréal

Immeuble M-58, salle E-310

Ottawa (Ontario) K1A 0R6

Canada

Tél. : 1 613 991-0917

Télec. : 1 613 952-9696

Melanie.cullins@nrc-cnrc.gc.ca

Représentant national

Gordon G. Shepherd

Director

Centre for Research in Earth and Space Science (CRESS)

York University

4700 Keele Street

Toronto, ON M3J 1P3

1 416 736-5247

gordon@windii.yorku.ca



Comités consultatifs formant le Comité national canadien (CNC)

Le CNC comprend les cinq comités consultatifs suivants liés au Programme des sciences spatiales :

- Le Comité consultatif sur les environnements spatial et atmosphérique (SAEAC)
- Le Comité consultatif sur l'astronomie spatiale (JCSA), partagé avec la Société canadienne d'astronomie (CASCA)
- Le Comité consultatif sur l'exploration de l'espace (SEAC) et son comité associé, le Comité consultatif sur les météorites et les impacts
- Le Comité consultatif sur les sciences de la vie
- Le Comité consultatif en sciences physiques

Pour en savoir plus sur ces comités consultatifs, leurs membres et leurs mandats, nous vous invitons à consulter le site Web de l'ASC à l'adresse suivante : www.space.gc.ca/asc/fr/sciences/comites.asp.

Aperçu

Du climat sur Terre aux conditions météorologiques sur Mars, des aurores boréales aux gisements pétroliers au fond des océans, des cellules osseuses aux exoplanètes, de la couche d'ozone au dessalement de l'eau, tous ces thèmes ont une chose en commun : ils sont le sujet de projets de recherche actuellement parrainés par le Programme des sciences spatiales de l'Agence spatiale canadienne (ASC). Tout comme plusieurs autres, ces projets visent à approfondir notre connaissance du milieu spatial, à permettre une présence humaine plus prononcée dans l'espace, et à exploiter l'espace pour mieux comprendre notre planète, les mondes extraterrestres et l'univers dans son ensemble.

Tous ces projets s'inscrivent dans le mandat de l'ASC, défini dans la *Loi sur l'Agence spatiale canadienne*, sanctionnée en 1990, qui est de « promouvoir l'exploitation et l'usage pacifiques de l'espace, de faire progresser la connaissance de l'espace au moyen de la science, et de faire en sorte que les Canadiens tirent profit des sciences et techniques spatiales sur les plans tant social qu'économique. »

Tous ces projets mobilisent les chercheurs pour explorer de grandes questions scientifiques, souvent en partenariat avec l'industrie canadienne ainsi que des organismes gouvernementaux et de recherche internationaux. Ils fournissent aux entreprises canadiennes des occasions d'innover dans le domaine de la haute technologie et de participer à des projets multinationaux à grande échelle, ce qui, en retour, contribue à accroître leur compétitivité sur le marché mondial.

Les projets de sciences spatiales produisent des connaissances qui contribuent à une meilleure gestion de l'environnement, et à l'amélioration de la qualité de vie non seulement sur Terre, mais aussi ailleurs, puisque l'être humain a quitté son berceau pour aller explorer l'espace au-delà de l'orbite terrestre.

Puisque le Canada dispose d'un budget limité pour la réalisation de ses activités spatiales et que le nombre de ses entreprises spatiales et de ses spatiales est relativement restreint, l'ASC concentre ses efforts sur le développement d'une

expertise de calibre mondial dans des créneaux scientifiques et technologiques clés. Un des grands objectifs du Canada est de faire de son industrie spatiale un fournisseur principal d'instruments et de systèmes destinés aux engins spatiaux et aux activités spatiales menées depuis le sol.

Un autre aspect important de cette stratégie consiste à tirer pleinement profit des avantages géographiques du Canada. Par exemple, le fait qu'il soit situé à des latitudes élevées a stimulé l'émergence du Canada à titre de leader mondial dans l'étude des aurores boréales et des concentrations d'ozone dans les régions arctiques. En outre, l'isolement et le climat inhospitalier du Nord canadien ont permis de simuler de façon convaincante certaines des conditions qui règnent sur Mars.

Cette expertise scientifique et technique spécialisée a notamment servi à appuyer les projets canadiens, comme la très fructueuse mission d'astronomie MOST, et à maximiser la participation du Canada à des programmes internationaux d'envergure, telle la mission américaine Phoenix à destination de Mars. Pour paraphraser un des chercheurs, cette approche a permis au Canada de « jouer dans la cour des grands » dans certains secteurs des sciences spatiales.

La Stratégie spatiale canadienne, c.-à-d. le cadre directeur du développement des programmes de l'ASC qui a été approuvée en 2005 par le gouvernement fédéral, comprend les quatre grands axes suivants :

- Observation de la Terre – observation de notre planète depuis l'espace afin d'y surveiller et d'y protéger la vie;
- Exploration et sciences spatiales – observation de l'espace pour explorer le cosmos, de parfaire nos connaissances sur l'univers, et de déterminer la place que nous y occupons;
- Télécommunications par satellite – utilisation de l'espace pour communiquer entre nous et transmettre des informations via des satellites;

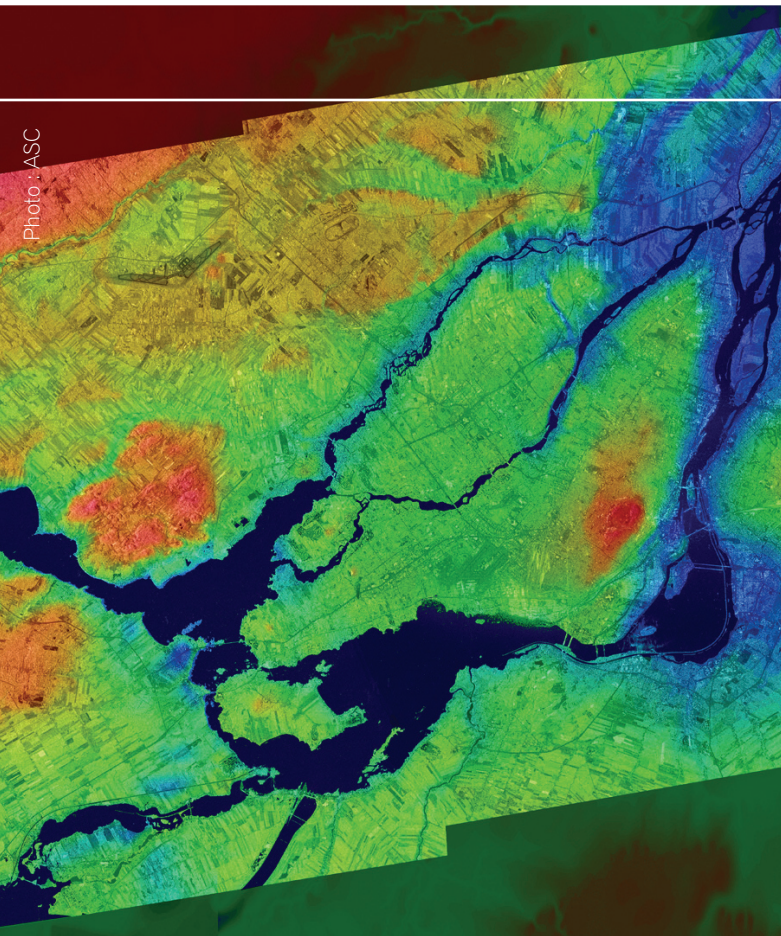


Image RADARSAT de Montréal, Canada.

- Sensibilisation à l'espace et éducation – utilisation de l'espace pour inspirer les Canadiens, les informer des plus récentes percées scientifiques et technologiques de leur pays, et rehausser le niveau des connaissances scientifiques au Canada.

Les missions et les projets de recherche appuyés par le Programme des sciences spatiales s'inscrivent principalement dans les deux premiers axes : Observation de la Terre et Exploration et sciences spatiales.

Observation de la Terre

Le Canada est un vaste pays dont la petite population est surtout concentrée près de sa frontière sud. Une grande partie de son territoire, spécialement dans le Nord, est éloignée, difficile d'accès, et inhospitalière sur le plan environnemental. La surveillance et la gestion de ce vaste territoire, de son environnement, et de ses ressources naturelles constituent un défi de taille, défi tout indiqué pour les systèmes d'observation spatioportés. Aucune autre option n'est aussi économique et n'offre une couverture aussi étendue du territoire canadien.

L'axe Observation de la Terre (OT), auquel l'ASC attribue la plus grande partie de son budget, vise à établir et à maintenir le leadership du Canada en

matière de développement et d'exploitation de systèmes d'OT spatioportés en appui à l'atteinte des priorités nationales. Ces priorités se classent dans les trois catégories suivantes : environnement, ressources et gestion de l'occupation des sols, et sécurité et politique étrangère.

Tous les systèmes terrestres – l'atmosphère, les océans, les terres émergées et la biosphère – sont visés par l'axe OT. Les activités en sciences spatiales contribuent grandement à la réalisation des projets d'observation de la Terre, particulièrement en ce qui concerne l'étude de l'atmosphère. Elles permettent notamment de se pencher sur des questions qui revêtent un intérêt particulier pour le Canada, comme l'état de la couche d'ozone au-dessus de l'Arctique.

De plus, le Canada participe activement aux programmes internationaux, et fournit des technologies et de l'expertise scientifique afin d'étudier les questions liées aux ressources et à l'environnement à l'échelle planétaire. Par exemple, les données recueillies par MOPITT, un instrument canadien embarqué à bord d'un satellite de la NASA, permettent de cartographier la migration des polluants à l'échelle planétaire.

Les données d'observation de la Terre produites par l'ASC visent à appuyer le gouvernement au plan stratégique, et à générer des retombées tangibles pour la population canadienne. Une vaste gamme de services axés sur l'économie, l'environnement et la sécurité – les prévisions météorologiques, la surveillance d'écosystèmes sensibles, la gestion forestière, la surveillance et la cartographie des glaces, la surveillance des eaux côtières, la protection civile et des infrastructures contre les risques naturels, et l'organisation d'aide et de secours dans les cas de catastrophes – dépendent de ces données.

Ces dernières jouent un rôle de première importance pour la mesure des niveaux de pollution et de la qualité de l'air et de l'eau. De plus, elles permettent d'accroître la capacité du Canada à gérer de façon durable ses ressources naturelles, ses activités de pêche, son agriculture et l'occupation de ses sols – quatre secteurs qui comptent pour plus de 42 % des exportations du pays, et pour 14 % du produit national brut du Canada.

Plus particulièrement, l'axe OT permet de comprendre, de surveiller et de gérer les environnements difficiles d'accès du Canada : ses zones côtières (les plus longues au monde) et ses territoires nordiques. Ces

vastes étendues, qui ont peu d'infrastructures, sont difficiles à surveiller, et leur observation au moyen de technologies au sol est très coûteuse.

Finalement, grâce à l'axe OT, le Canada est en mesure de surveiller son territoire, ses eaux côtières et ses frontières, et d'y faire respecter la loi. Cet axe appuie, en outre, les initiatives liées à la politique étrangère du Canada, comme les activités de maintien de la paix, la vérification du respect de traités, et la prestation d'aide humanitaire.

Exploration et sciences spatiales

Au cœur même de l'axe Exploration et sciences spatiales de l'ASC se trouvent les trois objectifs suivants : comprendre le système solaire et l'univers, rechercher des endroits capables de soutenir la vie

ailleurs que sur Terre, et préparer la présence humaine permanente dans l'espace et sur d'autres planètes.

Axée sur la science, cette stratégie de l'ASC vise principalement à trouver des éléments de réponse aux questions fondamentales, et à faire progresser les connaissances humaines. Ces questions touchent notamment à l'origine et à l'évolution de l'univers et du système solaire, aux origines et à l'évolution de la vie sur Terre, à la présence de vie ou non ailleurs dans le cosmos, aux relations Soleil-Terre, à l'existence de planètes autour d'étoiles autres que le Soleil, et à la nature de l'environnement spatial, particulièrement en ce qui concerne la microgravité et son incidence sur le corps humain, les autres organismes vivants et les matériaux.

Ces questions mobilisent des scientifiques de plusieurs disciplines, allant de la physique à l'astronomie, en passant par la géologie, la biologie, la chimie, la psychologie et la médecine. Elles donnent aussi lieu à des projets favorisant la collaboration multidisciplinaire et ce, tant au Canada qu'à l'échelle internationale.



La construction du Canadarm a permis au Canada d'envoyer ses astronautes et ses expériences scientifiques dans l'espace.



La coopération internationale a toujours été un élément essentiel du Programme spatial canadien. Ne possédant ni les capacités de lancement, ni les ressources financières nécessaires pour mettre sur pied ses propres missions d'envergure, le Canada a toujours tiré pleinement profit de ses compétences scientifiques et technologiques dans des créneaux clés en échange d'occasions de vols dans l'espace, et d'un accès aux données scientifiques produites dans le cadre de programmes internationaux. Par exemple, le Canada a fourni les manipulateurs robotiques de la navette spatiale et de la Station spatiale internationale en retour d'occasions de missions spatiales pour ses astronautes et d'un accès aux installations de recherche de la navette et de la Station pour que les chercheurs canadiens puissent y mener des expériences.

Dans le même ordre d'idées, le Canada a assuré à certains de ses chercheurs une participation à la mission américaine inhabitée Phoenix vers Mars en fournissant un instrument météorologique. Le partage des données recueillies par le petit satellite d'astronomie canadien MOST permettra aussi aux astronomes canadiens d'avoir accès aux données de COROT, un satellite français voué à la recherche d'exoplanètes.

Le Canada considère sa participation aux activités d'exploration et de sciences spatiales comme un investissement entraînant plusieurs retombées concrètes sur Terre. Cette participation permet d'accroître les compétences scientifiques et technologiques des Canadiens qui y prennent part, ainsi que leur capacité à soutenir la concurrence dans l'économie de plus en plus fondée sur le savoir. Ces occasions se traduisent par des retombées technologiques et économiques, et incitent les jeunes à poursuivre leurs études ainsi qu'une carrière dans les domaines scientifiques et technologiques.

Partenariats

L'établissement de partenariat efficace avec des ministères et organismes fédéraux, provinciaux et territoriaux, le milieu universitaire, l'industrie canadienne, et des organisations internationales est nécessaire pour permettre à l'ASC d'atteindre son objectif, qui consiste à faire du Canada un leader mondial dans les créneaux des sciences et des technologies spatiales.

D'autres ministères sont à la fois utilisateurs des données produites dans le cadre de programmes spatiaux, et partenaires dans la réalisation de

ces derniers. Pensons, par exemple, à certains ministères fédéraux – Ressources naturelles Canada, Environnement Canada, Pêches et Océans Canada, et le ministère de la Défense nationale – qui sont tous de grands utilisateurs de données de l'axe OT. Il en va de même pour les gouvernements provinciaux et territoriaux en raison de leur mandat constitutionnel qui consiste à protéger l'environnement et à gérer des ressources comme les forêts, l'eau, les cultures agricoles, et les gisements de minéraux. Ces partenaires ont également un intérêt direct dans le développement industriel, les retombées économiques, et l'appui accordé à la recherche universitaire découlant des programmes scientifiques et technologiques.

Le milieu universitaire joue un rôle clé en matière d'orientation du Programme des sciences spatiales de l'ASC. Certains de ses membres participent à des comités consultatifs chargés d'aider à cerner des questions scientifiques fondamentales, de fournir des conseils sur les questions ayant une importance nationale ou mondiale, et de soumettre des propositions d'activités de recherche pour répondre à ces questions. Le milieu universitaire a également dirigé le développement de nouveaux instruments novateurs et d'autres technologies qui ont été commercialisés dans le cadre de collaborations avec des entreprises existantes ou nouvelles. Ces activités ont produit d'importantes retombées économiques aux échelles locale, régionale et nationale, et ont contribué à accroître les occasions d'exportation pour l'industrie canadienne.

Ces activités, qui reposent habituellement sur une collaboration nationale ou internationale, ont permis le développement d'une expertise, d'une excellence et d'un leadership sans pareils dans d'importantes disciplines scientifiques et techniques.

Faits saillants 2004–2005

Au cours des années 2004 et 2005, certains projets de recherche canadiens en sciences spatiales ont été couronnés de succès, alors que d'autres étaient en préparation en vue de missions qui auront lieu au cours des prochaines années. Ces projets touchent à une gamme de disciplines financées par le Programme des sciences spatiales de l'Agence spatiale canadienne (ASC), dont l'astronomie, l'exploration planétaire, la science des relations Soleil-Terre, les sciences physiques, et les sciences de la vie. De plus, d'importantes percées ont eu lieu en recherche sur l'atmosphère, lesquelles contribuent à l'avancement du programme d'observation de la Terre.

Ces projets appuient le mandat de l'ASC qui consiste mettre à profit les sciences spatiales pour l'avancement des connaissances fondamentales et la production de retombées sociales et économiques sur Terre. Ils ont également entraîné des progrès significatifs au niveau des capacités scientifiques et technologiques du Canada, et accru la compétitivité de l'industrie spatiale canadienne à l'échelle internationale.

Ces projets, qui réunissent autant des missions entièrement canadiennes que d'autres menées en collaboration avec des partenaires internationaux, visent souvent la fourniture d'instruments ou de sous-systèmes conformément à l'objectif de l'ASC qui consiste à faire des entreprises canadiennes des fournisseurs de choix de tels dispositifs sur le marché international.

Astronomie

En ce qui concerne l'avancement des connaissances scientifiques fondamentales, certains des résultats les plus impressionnants proviennent de MOST (Microvariabilité et oscillations stellaires), un petit satellite d'astronomie capable de mesurer les infimes variations – ou oscillations – dans la luminosité des étoiles afin d'en déterminer l'âge, la nature et la composition. Depuis son lancement par une fusée russe en 2003, ce premier télescope spatial canadien a scruté quelque 400 étoiles, les fixant littéralement jusqu'à deux mois durant.

Une quantité phénoménale de données a donc été produite. Certaines d'entre elles sont d'ailleurs très surprenantes et viennent remettre en question des notions classiques d'astronomie. Par exemple, MOST n'a pas détecté d'oscillations chez Procyon, ce qui a amené Jaymie Matthews, un astronome de

l'University of British Columbia, à caractériser cet astre « d'inanimé. » Cette découverte controversée vient contredire toutes les observations faites à ce jour depuis le sol, ainsi que toutes les théories scientifiques selon lesquelles les étoiles de ce type doivent osciller.

Toutefois, MOST s'est surtout fait remarquer pour des activités de recherche qui ne faisaient même pas partie de son mandat original, soit la détection d'exoplanètes – des planètes gravitant autour d'étoiles autres que le Soleil. Pour l'instant, MOST est le seul satellite capable d'observer ces planètes en mesurant leur très subtile incidence sur la luminosité de l'étoile autour de laquelle elles tournent. Ces données peuvent en dire beaucoup sur la taille et l'atmosphère de ces planètes. Jusqu'à maintenant, MOST a examiné des exoplanètes de type géantes gazeuses, comme Jupiter, et il en recherche aussi d'autres similaires à la Terre.

Ces données pourraient permettre aux astronomes de s'attaquer à un mystère de taille: pourquoi plusieurs exoplanètes sont-elles si rapprochées de leur étoile-mère? On pourrait même lever en partie le voile qui entoure la nature de notre système solaire, et déterminer si sa structure ne serait pas plus inusitée que ce qu'on croyait jusqu'à maintenant. Il s'agit là d'un enjeu qui pourrait avoir des conséquences majeures sur notre compréhension de l'évolution de la vie sur Terre et de son existence possible ailleurs dans l'univers.

En observant d'autres étoiles et planètes, MOST aide les scientifiques à mieux comprendre la Terre, le Soleil et le système solaire.

En 2005, le Canada a collaboré avec trois autres pays au lancement d'un télescope-ballon qui a voyagé entre la Suède et le Nord du Canada pendant cinq jours. La mission BLAST (Télescope-ballon à large ouverture submillimétrique) a pour but d'étudier les galaxies croisées dans le cadre d'un projet mené par des astronomes souhaitant comprendre comment se sont formés et comment ont évolué les étoiles, les galaxies et autres importants constituants de l'univers.

Des scientifiques canadiens, dirigés par Barth Netterfield de l'University of Toronto, font partie de l'équipe de chercheurs. Le Canada fournit également d'importants éléments de la mission, dont le système de pointage fin et la nacelle dans



Une illustration de la plate-forme mobile du Mars Science Laboratory.

laquelle est installé le télescope. Un deuxième vol est prévu pour 2007. En plus de faire des observations astronomiques, BLAST sera également utilisé comme banc d'essai pour les instruments que le Canada met au point en vue de la mission Herschel, le télescope spatial de l'Agence spatiale européenne.

Le Canada participe également au développement de grands télescopes orbitaux de prochaine génération. Il fournira deux éléments essentiels au télescope spatial James Webb (JWST) de la NASA, dont le lancement est prévu en 2013.

Successeur du télescope spatial Hubble, le JWST observera une vaste gamme d'objets célestes allant de notre propre système solaire jusqu'aux galaxies lointaines. Il aura notamment pour objectif scientifique de parfaire nos connaissances fondamentales sur les origines et les premières étapes de l'évolution planètes, étoiles et galaxies. Une équipe scientifique canadienne, dirigée par John Hutchings de l'Institut Herzberg d'astrophysique, participera au projet.

De plus, le Canada fournira le capteur de pointage fin (FGS) du satellite, lequel permettra d'orienter avec précision le télescope. Le Canada fournira également un filtre accordable ultra-précis, ainsi qu'une roue portefiltres.

Le Canada a fourni un dispositif semblable au FGS dans le cadre de la mission FUSE (Télescope d'exploration spectroscopique dans l'ultraviolet lointain), un projet international visant la récolte d'informations sur les origines et l'évolution de l'univers et de ses constituants.

Exploration planétaire

En ce qui concerne l'exploration planétaire, tous les yeux sont tournés vers Mars. Objet de fascination depuis longtemps, elle est maintenant régulièrement visitée par des satellites et des modules d'atterrissage robotiques qui ont pour mission de lever le voile sur les conditions actuelles et historiques de Mars, et d'ouvrir la voie à la future exploration humaine de la planète.

Le Canada possède une expertise considérable dans plusieurs domaines-clés des sciences et des technologies pertinentes à l'exploration de Mars. On pense notamment à la recherche sur l'atmosphère, à la robotique et aux lidars. Ces derniers peuvent être utilisés tant pour observer l'atmosphère que pour commander les modules d'atterrissage.

Une station météorologique (MET) de conception canadienne, qui comprend le premier lidar à être envoyé sur Mars, est actuellement en préparation en vue d'un lancement dans le cadre de la mission américaine Phoenix Mars Lander, à l'été 2007. Une équipe de scientifiques issus d'universités et d'organismes gouvernementaux canadiens, dirigée par Diane Michelangeli de York University, participe à la mission.

Il est prévu que l'engin spatial atterrisse dans une région riche en glace près du cercle arctique de Mars, un an après son lancement. Il s'agira du premier engin terrestre à se poser si près du pôle Nord martien. Cette mission aura pour principal objectif de chercher des traces d'eau. Présentement, l'eau sur Mars n'existe que sous une forme solide ou gazeuse – glace ou vapeur d'eau. Aucun indice ne peut nous laisser croire qu'il y existe présentement de l'eau liquide, bien que des preuves indiquent que l'eau a autrefois coulé sur Mars. La question de l'eau sur Mars a toujours fasciné les scientifiques en raison de son importance dans le cycle de la vie.

Phoenix recueillera des échantillons de sol et de glace en subsurface qui seront ensuite analysés par des instruments embarqués. La station météorologique jouera un rôle-clé dans la documentation des conditions météorologiques et climatiques qui règneront au site d'atterrissage. L'engin se concentrera surtout sur l'étude de la couche limite, c.-à-d. la région située tout juste au-dessus de la surface, où la plupart des turbulences se produisent, et où la chaleur, la poussière, la vapeur d'eau et d'autres gaz interagissent et sont transférés entre l'atmosphère et la surface.

La station comprendra trois capteurs de température et un capteur de pression qui lui permettront de mesurer en continu la température et la pression atmosphérique sur Mars. Elle pourra également mesurer le taux d'humidité de l'environnement martien, et calculer la vitesse des vents.

En outre, le lidar servira à détecter les particules de poussière et les nuages de glace dans la basse atmosphère. Les nuages, qui transportent de l'eau et de la vapeur d'eau, sont des éléments-clés du cycle de l'eau. Les poussières atmosphériques, aussi, revêtent une importance particulière pour la compréhension des conditions météorologiques et climatiques puisqu'elles influencent le flux de l'énergie solaire dans l'atmosphère, et qu'elles ont une incidence sur la formation des nuages. Des tempêtes de poussières souvent très violentes balaient fréquemment la surface de Mars, et pourraient représenter un danger pour les futures missions d'exploration robotiques et humaines.

En 2004 et 2005, l'équipe de chercheurs canadiens a réalisé certaines études, et mis à l'essai certains instruments et éléments en préparation au programme de recherche qui sera entrepris lorsque l'engin Phoenix se sera posé sur Mars. Elle a également effectué des tests de sublimation de la glace, un processus qui voit la glace passer directement de l'état solide à l'état gazeux. Suite à ces tests, il a fallu revoir la conception de l'instrument de forage robotique afin d'accélérer le processus de collecte d'échantillons de glace en subsurface.

Un autre instrument canadien, le Spectromètre d'analyse par particules alpha et rayons X (APXS) a été retenu en vue de la mission Mars Science Laboratory (MSL) de la NASA, une mission martienne robotique de deux ans dont le lancement est prévu en 2009 et qui devrait toucher le sol martien en 2010. MSL aura pour principal objectif d'évaluer si l'environnement peut – ou s'il a déjà pu – entretenir une vie microbienne.

L'APXS, qui est parrainé par l'ASC et qui est construit au Canada, permettra d'étudier la composition chimique des roches et du sol martiens, ainsi que des échantillons recueillis à la surface de la planète. Ces données pourraient nous permettre de déterminer s'il y a déjà eu une forme de vie sur Mars. Ralf Gellert, un physicien de l'University of Guelph, est le chercheur principal pour cette expérience.

Afin d'améliorer les capacités du Canada en exploration planétaire, l'ASC élabore des sites analogues terrestres qui peuvent servir à préparer les chercheurs à vivre et à travailler sur d'autres planètes. Ces sites peuvent servir à l'étude des processus géologiques et biologiques susceptible d'exister ailleurs que sur Terre, et à la mise à l'essai de nouvelles technologies de recherche et d'exploration planétaire.

De tels sites offrent aussi aux chercheurs la capacité de réaliser des missions simulées afin de se familiariser avec les aspects sociaux et de la sécurité liés aux expéditions interplanétaires.

On espère que ces études déboucheront sur le développement de nouvelles technologies et infrastructures qui profiteront aux collectivités éloignées du Canada et d'autres pays.

Trois sites ont déjà été choisis pour le *Réseau canadien de recherche analogue* (RCRA), dont deux situés sur des îles en Arctique, et le troisième en Colombie-Britannique. ExSOC (Exploration Systems Operations Centre), un centre d'exploitation des systèmes d'exploration, a été créé à Simon Fraser University afin d'appuyer et de gérer les besoins techniques liés aux activités de recherche menées sur ces sites. L'ASC finance également des propositions soumises par des scientifiques et visant la réalisation de projets de recherche et de mise à l'essai et de validation d'instruments aux sites du RCRA, ainsi qu'à d'autres sites analogues potentiels au Canada et ce, tant au sol que sous l'eau.

Ce programme vise à appuyer et à accroître les compétences du Canada dans le secteur de la recherche en sciences spatiales, et de renforcer la coopération entre l'ASC, les universités canadiennes, et des partenaires internationaux. La géographie unique du Canada constitue une ressource qui peut être mise à profit pour produire des retombées positives pour la communauté scientifique du Canada.

Science des relations Soleil-Terre

L'emplacement du Canada, à des latitudes élevées, en fait l'endroit par excellence pour étudier les aurores boréales et les interactions entre la haute atmosphère de la Terre et les particules chargées électriquement émises par le Soleil qui atteignent la région polaire. Le Canada possède une expérience de plusieurs décennies dans le domaine de la recherche sur l'atmosphère, et cette tradition se poursuivra grâce à deux nouveaux projets: ePOP et THEMIS.

La sonde ePOP (Sonde de mesure de l'écoulement du plasma dans le vent polaire), qui comprend huit instruments, sera lancée sur une orbite polaire en 2008 à bord d'un petit satellite canadien baptisé CASSIOPE. Il aura pour mission d'étudier les particules chargées qui s'échappent de l'ionosphère, une région de la haute atmosphère terrestre, vers la magnétosphère où le champ magnétique terrestre exerce une influence dominante sur les particules

chargées. Cet « écoulement du plasma dans le vent polaire » n'a pas été étudié de façon approfondie jusqu'à maintenant.

Cette mission vise donc à améliorer notre connaissance scientifique de cette région et, plus particulièrement, à se pencher sur l'influence de cet écoulement de particules sur les violents orages magnétiques qui se produisent dans la magnétosphère suite à l'émission de salves de particules chargées par le Soleil. Ces « tempêtes spatiales » peuvent causer des ravages sur Terre, ainsi que perturber les systèmes de communications, mettre des satellites hors service, et dérégler les réseaux de distribution d'énergie.

L'équipe scientifique chargée de la mission ePOP, qui est dirigée par Andrew Yau de l'University of Calgary, prendra simultanément des mesures à l'aide du satellite et d'un réseau d'observatoires au sol installés partout au Canada, connu sous le nom de Programme canadien de surveillance géospatiale (PCSG).

Les observations effectuées depuis le sol sont également au cœur de la participation du Canada au projet THEMIS de la NASA, qui porte sur l'étude des sous-tempêtes aurorales causées par la décharge d'énergie, amenée par le vent solaire, dans la magnétosphère terrestre. (THEMIS est l'acronyme de « Time history of events and macroscale interactions during substorms. »)

En 2006, la NASA lancera cinq petits satellites pour étudier ce type de tempête. Les données qu'ils produiront seront mises en corrélation avec celles qui sont captées au moyen d'observations depuis le sol. La NASA a pris la décision de baser la composante stratégique en matière de sol de la mission au Canada en raison de notre expertise en recherche sur la haute atmosphère et de notre emplacement de choix, sous les aurores boréales. En tout, la mission comptera 20 observatoires au sol, dont 16 seront installés au Canada et quatre en Alaska.

Ce réseau de stations prendra des images d'aurores toutes les trois secondes pendant deux ans, produisant ainsi une quantité phénoménale de données. L'équipe scientifique canadienne, dirigée par Eric Donovan, de l'University of Calgary, a mis au point un logiciel appelé GAIA (Global Auroral Imaging Access) pour assurer la gestion de ces données. Le logiciel pourrait aussi se révéler utile pour la gestion d'autres grandes bases de données.

Le projet THEMIS a également été à l'origine d'autres percées technologiques, comme l'amélioration des capteurs utilisés pour l'enregistrement d'images numériques d'aurores. Deux nouvelles entreprises de haute technologie ont été créées pour commercialiser ces technologies.

Sciences physiques

L'un des objectifs du Programme des sciences physiques de l'ASC est d'exploiter la microgravité pour l'avancement de nos connaissances fondamentales sur la nature et le comportement de matériaux qui ne peuvent pas être observés sur Terre en raison de l'influence dominante de la pesanteur.

Une étude à ce sujet, connue sous le nom de SCCO (Étude du coefficient de Soret dans le pétrole brut), a été réalisée par Ziad Saghir, professeur d'ingénierie de Ryerson University, à Toronto. Il s'agissait d'étudier comment les éléments constitutifs du pétrole se déplacent et se séparent en réaction aux gradients de température entre points différents. Ce processus, connu sous le nom de diffusion thermique, est impossible à mesurer sur Terre parce qu'il est masqué par la pesanteur.

Cette étude vise à améliorer les modèles informatiques utilisés par les entreprises pétrolières pour apprécier les nouveaux gisements pétroliers avant d'entreprendre les opérations de forage. Saghir est particulièrement intéressé à mettre ses travaux de recherche à profit à deux endroits au Canada, soit au gisement d'hydrocarbures situé au large de Terre-Neuve et dans les sables bitumineux de l'Alberta.

Certains échantillons d'hydrocarbures ayant été envoyés dans l'espace à bord d'un satellite russe récupérable Foton en 2005 sont présentement à l'étude. D'autres expériences sont prévues à bord de la Station spatiale internationale après 2007.

Une autre étude sur les liquides réalisée à bord de la navette spatiale, a mené au développement d'un évaporateur unique en son genre pouvant trouver application dans divers processus industriels, allant du dessalement de l'eau à la fabrication de médicaments, de lait en poudre et de liqueurs. Charles Ward, professeur d'ingénierie à l'University of Toronto, a basé son nouvel évaporateur sur une propriété jusqu'alors inconnue de l'eau qu'il a découverte dans le cadre d'essais au sol résultant de l'expérience effectuée à bord de la navette spatiale.

L'exploitation de cette propriété inédite lui a permis de mettre au point un évaporateur beaucoup plus efficace que les autres sur le plan énergétique. Ce système est présentement à l'essai afin de produire des aliments pour animaux à partir des résidus du maïs utilisé pour la fabrication de whisky.

Sciences de la vie

Le Programme des sciences de la vie de l'ASC vise d'abord et avant tout à approfondir nos connaissances de base sur les effets de l'environnement spatial, principalement la microgravité et les rayonnements

intenses, sur les processus biologiques qui interviennent chez les organismes vivants. Au Canada, on s'est penché sur deux domaines précis: les effets de la microgravité sur les muscles, les os, et les systèmes cardiovasculaire et neurologique; et les effets du rayonnement spatial sur les organismes vivants. Ces deux aspects sont importants pour assurer la santé et la sécurité des humains lors des futures missions spatiales de longue durée.

Ces travaux de recherche sont importants pour la mise au point de protocoles de préadaptation et de mesures de prévention efficaces qui serviront à protéger les astronautes contre les effets physiologiques néfastes d'un séjour prolongé dans l'espace, et à améliorer les programmes de réhabilitation des astronautes à leur retour sur Terre.

Dans le passé, l'ASC a appuyé le projet de recherche OSTEO, lequel visait l'étude des processus fondamentaux liés à la création et à la destruction des cellules osseuses dans le corps humain, et de la façon dont la microgravité altère ces processus.

Le programme e-OSTEO présentement en cours continuera dans cette veine. Au total, trois expériences doivent être lancées en 2007 dans le cadre d'une mission de 12 jours à bord d'un engin spatial russe inhabité. Les cellules osseuses seront stockées dans un mini-laboratoire automatisé de conception canadienne.

Andrew Karaplis, de McGill University, étudiera les effets de la microgravité sur une hormone connue pour influencer les cellules qui forment les os. René Harrison, de l'University of Toronto, examinera, pour sa part, les effets de la microgravité sur certains aspects critiques du développement et du fonctionnement des cellules intervenant dans la construction et la destruction des os. Finalement, Reginald Gorczynski, également de l'University of Toronto, se concentrera sur le rôle de certaines molécules biologiques régissant la formation et la déperdition osseuses en microgravité.

Ces expériences pourraient jeter un éclairage nouveau sur les processus causant l'ostéoporose (déperdition osseuse) chez les personnes âgées sur Terre, et faciliter le développement de nouveaux médicaments pour combattre cette condition, sur Terre comme dans l'espace.

En 2005, deux équipes de chercheurs canadiens ont pris part à la première étude sur l'alitement prolongé à laquelle des femmes ont participé. Le projet WISE (Women International Space

Simulation for Exploration) a été réalisé en France et a été suivi par des scientifiques de plusieurs pays. Vingt-quatre volontaires en parfaite santé ont passé 60 jours alitées, la tête légèrement inclinée vers le bas. Il s'agit là d'une configuration qui permet de reproduire assez fidèlement les effets de la microgravité, et qui a une incidence sur les systèmes musculaire, osseux et cardiovasculaire.

Les résultats obtenus par l'une des équipes canadiennes, dirigée par Guy Trudel de l'Université d'Ottawa, pourraient permettre d'expliquer pourquoi les astronautes souffrent d'anémie, c.-à-d. une diminution de la production des globules rouges qui cause de la fatigue, et qui pourrait avoir des conséquences graves pendant une mission de longue durée.

Le deuxième groupe, dirigé par Richard Hughson de l'University of Waterloo, a étudié le rôle de l'immobilité dans l'hypotension orthostatique, c.-à-d. des étourdissements ou une perte de connaissance pouvant se produire lorsqu'une personne se lève après avoir passé une longue période en microgravité ou en position couchée. Ce phénomène pourrait éventuellement nuire au rendement et à la sécurité des astronautes de retour de l'espace ou en exploration sur d'autres planètes.

Les chercheurs ont remarqué que les sujets qui ont fait de l'exercice pendant qu'ils étaient alités ont vu leur pression sanguine revenir plus rapidement à la normale une fois debout que les sujets n'ayant pas fait d'exercices. Ces résultats, à l'instar de quelques autres, ont confirmé les bienfaits de l'exercice physique pendant les missions spatiales de longue durée. Cependant, il reste à déterminer le niveau d'activité physique qui sera nécessaire.

L'ASC a également parrainé plusieurs projets d'étude sur les effets biologiques du rayonnement spatial. En 2004, l'ASC a financé la participation de la généticienne Ann Rose, de l'University of British Columbia, à la mission ICE-First, un projet pilote d'envergure internationale portant sur l'étude de l'incidence du rayonnement spatial sur les gènes de l'espèce *C. elegans*, un petit ver couramment utilisé en recherche biologique.

Les vers, qui ont été envoyés à bord de la Station spatiale internationale, ont grandi et se sont développés normalement en microgravité, mais quelques-uns d'entre eux ont démontré des problèmes de motricité une fois revenus sur Terre. Rose croit que *C. elegans*, qui partage plusieurs gènes avec l'humain, pourrait se

révéler utile comme détecteur biologique de rayonnement pour évaluer les dommages génétiques causés par de fortes doses de rayonnements lors de missions spatiales de longue durée.

Sciences de l'atmosphère

Depuis plusieurs années, le Canada se bâtit une expertise en élaboration et en exploitation d'instruments spatiaux axés sur l'étude de la Terre, et plus particulièrement de la couche d'ozone qui surplombe l'Arctique.

L'une de ses grandes réalisations au cours des dernières années est l'instrument MOPITT (Mesure de la pollution dans la troposphère), soit l'un des cinq instruments lancés à bord du satellite Terra de la NASA en 1999. MOPITT fait le suivi des concentrations et du déplacement dans l'atmosphère à l'échelle mondiale du monoxyde de carbone (CO), un gaz produit lors de la combustion incomplète des combustibles fossiles et du brûlage de la biomasse, comme les feux de forêts. On peut aussi se servir du CO comme témoin pour déterminer le mouvement d'autres polluants atmosphériques qui ne peuvent être mesurés directement.

MOPITT est le premier instrument spatial capable de documenter le mouvement des polluants dans l'atmosphère sur de grandes distances, au-dessus des continents et des océans. Il a notamment permis aux scientifiques de créer les premières cartes mondiales sur la répartition des polluants atmosphériques. L'équipe scientifique canadienne est dirigée par James Drummond de l'University of Toronto.

Un autre projet canadien, appelé SCISAT, vise à étudier l'état de la couche d'ozone dans la stratosphère et plus spécifiquement, au-dessus de l'Arctique. L'ozone stratosphérique protège les organismes vivants de la Terre contre les dangereux rayons ultraviolets émis par le Soleil.

SCISAT, un satellite canadien lancé en 2003, transporte l'Expérience de chimie atmosphérique (ACE), qui permet de mesurer avec une grande précision plus de 30 molécules chimiques différentes ayant une incidence sur la couche d'ozone. Les données produites par SCISAT servent également à la réalisation d'études sur la pollution et la qualité de l'air. Peter Bernath, de l'University of Waterloo, dirige l'équipe responsable de cette mission.

L'ASC parraine également un spectromètre imageur des vents stratosphériques appelé SWIFT (Stratospheric Wind Interferometer for Transport), lequel s'envolera à bord du satellite canadien Chinook, dont le lancement est prévu en 2010. SWIFT fournira pour la première fois une vue

d'ensemble des vents stratosphériques, ce qui permettra de mettre directement en corrélation ces informations avec celles qui sont sur les variations des concentrations d'ozone. Ian McDade, de York University, dirige l'équipe scientifique chargée de la mission SWIFT.

En plus de parrainer des instruments embarqués à bord de satellites, l'ASC appuie un programme d'évaluation des tendances des mouvements de l'azote dans l'atmosphère moyenne, baptisé MANTRA (Middle Atmosphere Nitrogen TRend Assessment). Ce programme fait appel à des lancers de ballons qui transportent des instruments en altitude, et mesurent d'importants éléments chimiques présents dans l'atmosphère comme l'azote et l'ozone, ainsi que des petites particules pouvant avoir une incidence sur le climat. Ces études aideront à évaluer l'efficacité des mesures environnementales visant à protéger la couche d'ozone qui ont été mises en œuvre suite au Protocole de Montréal en 1987. Kimberly Strong, de l'University of Toronto, dirige l'équipe scientifique.

Au début de 2006, le satellite CloudSat de la NASA a été lancé dans le cadre de la première mission de cartographie tridimensionnelle des nuages. L'équipe de scientifiques canadiens qui prend part au projet est dirigée par David Hudak et Howard Barker d'Environnement Canada. Le Canada a également fabriqué des éléments-clés du module de réception électronique et du radar utilisé par CloudSat pour profiler les nuages.

La mission CloudSat vise à faire progresser nos connaissances fondamentales sur la structure et la nature des nuages, et sur la quantité d'eau et de cristaux de glace qu'ils transportent. Nous savons que les nuages jouent un rôle important du point de vue météorologique et climatique, mais il reste bon nombre d'incertitudes quant à la nature exacte de ce rôle. Les scientifiques espèrent que les observations de CloudSat permettront de lever une partie du voile qui les entoure toujours.

Le Programme des sciences spatiales de l'ASC touche donc à une multitude de disciplines scientifiques, et permet à l'ASC de réaliser son mandat qui est de favoriser le développement d'une expertise scientifique et technologique au Canada, de conclure des partenariats nationaux et internationaux, d'accroître la compétitivité de l'industrie spatiale canadienne, et d'exploiter l'environnement spatial pour produire des retombées sociales et économiques sur Terre.

Aperçu par discipline scientifique

Le Programme des sciences spatiales de l'Agence spatiale canadienne (ASC) a pour mandat de gérer les missions scientifiques que finance l'ASC. La plupart des activités du Programme sont menées dans le cadre de deux des quatre grands axes de la Stratégie spatiale mise en œuvre par le gouvernement canadien, soit les axes stratégiques Observation de la Terre et Exploration et sciences spatiales.

L'axe Observation de la Terre porte sur tous les systèmes terrestres, soit l'atmosphère, les océans, les terres émergées et la biosphère. Le Programme des sciences spatiales contribue de façon significative à l'axe Observation de la Terre par le biais de diverses initiatives en sciences de l'atmosphère.

L'axe Exploration et sciences spatiales englobe les travaux de recherche scientifique dans les cinq disciplines suivantes : l'astronomie, l'exploration planétaire, les relations Soleil-Terre, les sciences physiques, et les sciences de la vie.

La création de partenariat avec le milieu universitaire, l'industrie, d'autres ministères et organismes gouvernementaux, et divers organismes internationaux de recherche est un élément clé du Programme des sciences spatiales. Il se fonde sur les recommandations formulées par des comités consultatifs scientifiques qui cernent les questions d'intérêt national et mondial, de même que sur les observations tirées d'ateliers spécialisés. Les projets à réaliser sont choisis par voie concurrentielle, et sont soumis à un examen par des pairs pour s'assurer qu'ils satisfont aux normes internationales d'excellence.

Observation de la Terre – Sciences de l'atmosphère

L'objectif de l'axe Observation de la Terre (OT), auquel est consacrée la plus large part du budget de l'ASC, consiste à établir et à maintenir la primauté du Canada en matière de développement et d'exploitation de systèmes OT depuis l'espace, en vue d'appuyer la concrétisation des priorités nationales. Ces priorités sont classées dans les trois catégories suivantes : environnement, gestion des ressources et de l'occupation des sols, et sécurité et politique étrangère. Les activités du Programme des

sciences spatiales contribuent considérablement aux projets d'observation de la Terre appliquée à la recherche atmosphérique.

Thèmes scientifiques abordés : Quels sont les processus chimiques et physiques qui régissent la répartition de l'ozone stratosphérique et des espèces écologiquement vulnérables? Quel rôle jouent les vents et les ondes atmosphériques dans le climat? Quels sont les principaux facteurs qui interviennent dans le climat, et comment peut-on les quantifier?

Missions lancées et en exploitation : Le Canada a développé toute une expertise dans la mise au point et l'exploitation d'instruments spatiaux destinés à l'étude de l'atmosphère terrestre et de la couche d'ozone, particulièrement au-dessus de l'Arctique. Un exemple probant de cette expertise est le programme WINDII (Interféromètre d'imagerie des vents) qui a donné d'excellents résultats. S'échelonnant sur 12 ans, ce programme a recueilli des données sur les vents qui circulent quotidiennement dans la haute atmosphère, un peu comme les marées sur Terre. Ces ondes ont une grande incidence sur la circulation dans la haute atmosphère.

L'instrument canadien OSIRIS, embarqué à bord du satellite suédois Odin, a lui aussi pour mission d'étudier l'état de la couche d'ozone. Il capte des données sur l'appauvrissement de l'ozone aux latitudes élevées, données dont se servent les chercheurs pour réaliser des courbes de répartition verticale de l'ozone en différents endroits. Ces données permettent aussi de créer des cartes de la répartition d'autres molécules qui nuisent à la couche d'ozone.

Un des plus importants projets menés actuellement par l'ASC est celui de l'instrument MOPITT (Mesure de la pollution dans la troposphère), de fabrication canadienne, embarqué à bord du satellite Terra de la NASA. Il mesure les concentrations et les mouvements de monoxyde carbone dans l'atmosphère autour de la planète. Grâce aux données de MOPITT, les chercheurs ont pu produire les premières cartes des mouvements de la pollution à l'échelle du globe. Ces données permettent aussi de raffiner les modèles informatiques de l'atmosphère.



Le Canada participe également au programme du satellite CloudSat de la NASA, lancé en 2006 pour réaliser la première étude exhaustive en trois dimensions des nuages. L'ASC a fourni certains des éléments clés du satellite, et des chercheurs canadiens font partie de l'équipe scientifique de la mission.

En météorologie, les nuages revêtent une grande importance, et CloudSat nous permettra d'approfondir nos connaissances fondamentales sur leur structure et leur nature. Les résultats de cette recherche devraient nous aider à mieux comprendre et prévoir les phénomènes météorologiques et climatiques.

Entre-temps, SCISAT, le satellite canadien lancé en 2003, transporte un instrument qui prend des mesures de grande précision d'une trentaine de substances chimiques ayant une incidence sur la répartition de l'ozone stratosphérique, particulièrement au-dessus de l'Arctique. Les données de l'Expérience sur la chimie atmosphérique (ACE) servent également à la réalisation d'études sur la pollution de l'air. Les résultats de ces études pourraient être d'une utilité considérable dans l'établissement de politiques environnementales à l'échelle internationale.

Le programme des sciences de l'atmosphère s'appuie largement sur les instruments portés par ballon. L'ASC parraine un programme désigné MANTRA

(Évaluation des tendances des mouvements de l'azote dans l'atmosphère moyenne) qui recourt aux ballons pour le transport en altitude d'instruments chargés de mesurer d'importants composants chimiques de l'atmosphère, comme l'azote et l'ozone, ainsi que d'autres petites particules ayant une incidence sur le climat.

En 2010, le Canada prévoit lancer le satellite Chinook qui sera équipé de SWIFT (Interféromètre imageur des vents stratosphériques pour l'étude des processus de transport dans l'atmosphère), un instrument semblable à WINDII. Pour la première fois, On pourra observer les vents stratosphériques et les changements dans les concentrations d'ozone à l'échelle de la planète.

L'application des technologies spatiales à la collecte de données n'est que le premier maillon de la « chaîne de valeur » nécessaire à la pleine exploitation des informations tirées de l'observation de la Terre. Ces données doivent être transmises vers la Terre, puis être traitées, archivées et diffusées à ceux qui peuvent les analyser et les utiliser de façon productive. Pour réaliser ce projet, l'ASC investit non seulement dans les technologies spatiales de collecte de données, mais également dans l'infrastructure au sol nécessaire à l'exploitation et à la commande de satellites, ainsi qu'à la réception, au traitement et à l'archivage des données.

Missions et grands projets en sciences de l'atmosphère

Missions lancées / en exploitation

MOPITT à bord du satellite Terra de la NASA

Un des cinq instruments à bord du satellite Terra, qui fait partie du Système d'observation de la Terre de la NASA. MOPITT mesure la répartition mondiale du monoxyde de carbone dans la troposphère, et permet de produire des cartes 3D à haute résolution qui sont actualisées tous les quatre jours.

Pays participants	États-Unis, Canada, Japon
Année de lancement	1999
Participation canadienne	Instrument MOPITT (Mesure de la pollution dans la troposphère)
Chercheur principal canadien	James Drummond, University of Toronto

Missions et grands projets en sciences de l'atmosphère

Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of Toronto Agence spatiale canadienne Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie
Partenaire de l'industrie canadienne	Com Dev International, Cambridge (Ontario)
Site Web : www.atmosph.physics.utoronto.ca/MOPITT/home.html	
<p>OSIRIS à bord d'ODIN de la Suède OSIRIS recueille des données et produit des cartes quotidiennes des concentrations d'ozone tous les 1,5 Km d'altitude dans la stratosphère et la mésosphère, fournissant des données plus détaillées que ce n'était possible auparavant.</p>	
Pays participants	Suède, Canada, France, Finlande
Année de lancement	2001
Participation canadienne	Instrument OSIRIS (Spectrographe optique avec système imageur dans l'infrarouge)
Chercheur principal canadien	Edward Llewellyn, Institute of Space and Atmospheric Sciences – University of Saskatchewan
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of Saskatchewan Agence spatiale canadienne Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie
Partenaire de l'industrie canadienne	Routes AstroEngineering, Kanata (Ontario)
Site Web : osirus.usask.ca	

Missions et grands projets en sciences de l'atmosphère

ACE-FTS et MAESTRO à bord de SCISAT

Cette mission entièrement canadienne collecte des informations précises sur les concentrations de toute une série de gaz à l'état de trace dans la stratosphère, et contribue ainsi à l'étude des processus chimiques qui s'opèrent dans la couche d'ozone.

Pays participant	Canada
Année de lancement	2003
Participation canadienne	Mission entièrement canadienne comprenant deux instruments : ACE-FTS (Expérience sur la chimie atmosphérique – Spectromètre à transformée de Fourier) MAESTRO (Mesure de l'extinction des aérosols par occultation dans la stratosphère et dans la troposphère)
Chercheurs principaux canadiens	Peter Bernath, University of Waterloo (pour ACE-FTS) Tom McElroy, Environnement Canada (pour MAESTRO)
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of Waterloo Environnement Canada Agence spatiale canadienne
Partenaires de l'industrie canadienne	ABB Bomem, Québec (Québec) (pour ACE-FTS) EMS Technologies, Ottawa (Ontario) (pour MAESTRO) Bristol Aerospace, Winnipeg (Manitoba) (pour le satellite)

Site Web : www.ace.uwaterloo.ca

MANTRA : Évaluation des tendances des mouvements de l'azote dans l'atmosphère moyenne

Série de lancers de ballons à haute altitude qui visent à étudier les changements dans les concentrations de l'ozone stratosphérique aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord, et des composés d'azote et de chlore qui interviennent dans la chimie de l'ozone.

Pays participant	Canada
Année de lancement	2004
Participation canadienne	—
Chercheuse principale canadienne	Kimberly Strong, University of Toronto

Missions et grands projets en sciences de l'atmosphère

Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of Toronto University of Waterloo York University Environnement Canada Agence spatiale canadienne
Partenaire de l'industrie canadienne	Scientific Instrumentation Ltd., Saskatoon (Saskatchewan)
Site Web : www.atmosp.physics.utoronto.ca/MANTRA	
<p>EIK et RFES à bord de CloudSat Mission dirigée par la NASA, vouée à l'étude de la formation des nuages et des aérosols, de leur évolution et de leur interaction. Un radar profileur de nuages dérivera les profils verticaux de la teneur en eau liquide et en glace des nuages. Fait partie de la constellation de satellites A-Train de la NASA qui fournira des renseignements précieux sur la distribution planétaire et l'évolution des nuages en vue d'améliorer les prévisions météorologiques et climatiques.</p>	
Pays participants	États-Unis, Canada
Année de lancement	2006
Participation canadienne	Le Canada a fourni des éléments clés du radar profileur de nuages : l'instrument Klystron à interaction élargie (EIK), générant des ondes-radars qui vont sonder la structure verticale des nuages l'élément central du Récepteur du sous-système électronique radiofréquence (RFES)
Chercheurs principaux canadiens	Howard Barker et David Hudak, Environnement Canada
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	McGill University Université du Québec à Montréal Environnement Canada Agence spatiale canadienne



Missions et grands projets en sciences de l'atmosphère	
Partenaires de l'industrie canadienne	CPI, Georgetown (Ontario) Com Dev, Cambridge (Ontario)
Sites Web : www.space.gc.ca/asc/fr/satellites/cloudsat.asp	
Missions en cours de développement	
SWIFT à bord de Chinook Chinook est une mission canadienne vouée à la mesure des vents, de l'ozone et des températures dans la stratosphère. L'instrument SWIFT donnera, pour la première fois, une vue d'ensemble des vents stratosphériques et de l'incidence des processus de transport sur les modifications dans les concentrations d'ozone.	
Pays participant	Canada
Année de lancement	2010
Participation canadienne	Mission dirigée par le Canada comprenant l'instrument canadien SWIFT (Interféromètre-imageur des vents stratosphériques pour l'étude des processus de transport dans l'atmosphère)
Chercheur principal canadien	Ian McDade, York University
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	York University Agence spatiale canadienne
Partenaire de l'industrie canadienne	EMS Technologies, Ottawa (Ontario) (pour SWIFT)
Site Web : www.swift.yorku.ca	

Exploration et sciences spatiales

L'axe Exploration et sciences spatiales de l'ASC s'articule autour des trois objectifs suivants : améliorer notre compréhension du système solaire et de l'univers; chercher des traces de vie extraterrestre; et, préparer une présence humaine permanente dans l'espace et sur d'autres planètes. L'un des principaux buts de l'ASC consiste à appuyer le développement continu de l'industrie spatiale canadienne, de sorte qu'elle devient un fournisseur privilégié d'instruments et de systèmes spatioportés destinés à des projets en sciences spatiales d'envergure nationale et internationale.

Le Canada fait également figure de pionnier dans la mise au point de microsatellites peu coûteux exploités dans le cadre de programmes d'observation depuis l'espace.

L'ASC a établi pour son axe Exploration et sciences spatiales un ensemble d'objectifs à court (cinq ans), à moyen (10 ans) et à long (20 ans) termes qui visent à tirer profit des réussites antérieures, et à avoir la masse critique nécessaire d'expertise scientifique et technique pour pouvoir assumer un rôle de leader dans les missions futures qui se dérouleront au-delà de l'orbite terrestre.

Ces « feuilles de route » pour l'avenir sont réparties en deux groupes distincts – l'un se rapportant à l'astronomie et au système solaire, et l'autre, aux sciences physiques et aux sciences de la vie. Ensemble, ils englobent des projets de recherche dans cinq différentes disciplines scientifiques, soit l'astronomie, l'exploration planétaire, les relations Soleil-Terre, les sciences physiques, et les sciences de la vie.

Astronomie et système solaire

Astronomie

L'accès à l'espace, rendu possible grâce à la mise au point de télescopes spatiaux qui se sont affranchis des effets d'obscurcissement de l'atmosphère terrestre, a révolutionné l'astronomie. Le Canada a participé à cette révolution aussi bien en lançant ses propres petits satellites d'astronomie qu'en offrant des contributions scientifiques et techniques à de grands projets internationaux.

Le milieu universitaire et l'industrie spatiale du Canada agissent à titre d'importants partenaires dans la réalisation de ces projets. L'ASC travaille en étroite collaboration avec la Société canadienne d'astronomie (CASCA) et l'Institut Hertzberg d'astrophysique – Conseil national de recherches du Canada. Des astronomes canadiens sont à la tête des équipes scientifiques qui mènent les projets, et sont également membres des équipes de projets internationaux en cours. De plus, diverses entreprises canadiennes fournissent des composants et des systèmes clés destinés à des projets tant nationaux qu'internationaux.

Thèmes scientifiques abordés : mieux comprendre les phénomènes à l'origine de la formation de l'univers; mesurer l'abondance de deutérium dans l'univers; mesurer les principaux paramètres cosmologiques; déterminer la composition chimique des nuages moléculaires; repérer les planètes capables d'abriter la vie à proximité d'autres étoiles; déterminer la nature de l'énergie noire et de la matière noire, et comprendre comment elles façonnent les galaxies.

Missions lancées et en exploitation : L'une des missions fournissant les meilleurs résultats est désignée MOST (Microvariabilité et oscillations stellaires). Elle est menée à bord du premier microsatellite canadien lancé en 2003. Conçue pour détecter les infimes variations de la luminosité des étoiles, cette mission a déjà produit des résultats très intéressants et souvent surprenants au sujet de la nature et de l'évolution des étoiles et des exoplanètes gravitant autour d'autres étoiles.

Le Canada participe également à la mission internationale FUSE (Télescope d'exploration spectroscopique dans l'ultraviolet lointain) que dirige la NASA en vue de recueillir des données sur l'origine et l'évolution de l'univers et de ses composantes. Le Canada a fourni le capteur de pointage fin (FGS) qui équipe le satellite et qui assure le guidage de précision du télescope.

Des chercheurs canadiens œuvrent dans le cadre du projet international BLAST (Télescope-ballon à ouverture submillimétrique large) ayant pour but d'étudier les galaxies croisées. Divers éléments essentiels à la mission ont été fournis par le Canada. Lors de sa première mission en 2005, le ballon a parcouru la distance séparant la Suède et le Nord du Canada en cinq jours. Lors de sa deuxième mission, prévue en 2007, le ballon servira de banc d'essai à certains instruments canadiens destinés au télescope spatial Herschel de l'Agence spatiale européenne (ESA).

Appuyés par l'ASC, le milieu de la recherche en astronomie et l'industrie spatiale du Canada participeront à diverses missions de télescopes spatiaux de pointe qui seront lancées au cours des cinq à 10 prochaines années. On pense notamment au Télescope spatial James Webb (JWST) de la NASA, aux satellites Planck et Herschel de l'Agence spatiale européenne, et au Télescope imageur dans l'ultraviolet (UVIT) à bord de l'observatoire orbital ASTROSAT, un projet entrepris en collaboration avec l'Agence spatiale indienne ISRO.

En mettant au point des instruments ou des logiciels pour chacun de ces projets, le Canada contribue à l'atteinte des objectifs de l'ASC visant à exploiter le créneau du développement de capteurs

et d'instruments d'astronomie pour équiper des satellites, et à faire de l'industrie canadienne un fournisseur de choix dans ce domaine.

L'ASC prête également son concours au Centre canadien de données en astronomie (CCDA). Cet organisme archive les données acquises au cours de missions d'astronomie, et les met à la disposition de chercheurs partout dans le monde, même après la fin des missions. Le CCDA s'emploie à concevoir de nouveaux outils et de nouvelles techniques de

traitement afin de rehausser la valeur scientifique des données. Il coopère avec des organismes, notamment la NASA et l'ESA, à la réalisation d'un observatoire virtuel qui permettra d'appliquer ces outils à d'autres bases de données d'astronomie.

En outre, le CCDA élabore des méthodes innovatrices de gestion et de stockage de grands volumes de données pouvant servir à des projets d'envergure dans d'autres domaines scientifiques, comme la recherche en sciences océaniques.

Missions d'astronomie

Missions lancées / en exploitation

FES à bord de FUSE : Spectromètre d'exploration dans l'ultraviolet lointain

Mission d'astrophysique dirigée par la NASA et vouée à l'exploration de l'univers, exploitant la spectroscopie dans les longueurs d'ondes de l'ultraviolet lointain. Pour mieux comprendre les origines de l'univers, les chercheurs étudient le deutérium, un élément rare produit immédiatement après le Big Bang et présent dans les nuages gazeux de la Voie lactée.

Pays participants	États-Unis, Canada, France
Année de lancement	1999
Participation canadienne	Appareil de pointage fin (FES) qui fournit des images précises d'étoiles-repères et guide le satellite
Chercheur principal canadien	John Hutchings, Institut Hertzberg d'astrophysique
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	Agence spatiale canadienne Institut Hertzberg d'astrophysique
Partenaires de l'industrie canadienne	COM DEV, Cambridge (Ontario)
Site Web : fuse.pha.jhu.edu	
MOST : Microvariabilité et oscillations stellaires	
Premier télescope spatial et microsatellite du Canada, MOST est une mission entièrement canadienne. Elle a pour objectif de sonder des étoiles et des exoplanètes en mesurant des variations lumineuses ténues, impossibles à déceler depuis la Terre.	
Pays participant	Canada
Année de lancement	2003
Participation canadienne	Mission entièrement canadienne

Missions d'astronomie

Chercheur principal canadien	Jaymie Matthews, University of British Columbia
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of British Columbia Institute of Aerospace Studies – University of Toronto Agence spatiale canadienne CRESTech
Partenaires de l'industrie canadienne	Dynacon Inc., Mississauga (Ontario) Routes AstroEngineering, Kanata (Ontario)
Site Web : www.astro.ubc.ca/MOST	
<p>BLAST : Télescope-ballon à large ouverture submillimétrique Mission de cosmologie de six jours, servant à repérer de lointaines galaxies qui abritent des pépinières d'étoiles, à mesurer des sources froides associées aux toutes premières étapes de la formation des étoiles et des planètes, et à réaliser des cartes à haute résolution des émissions galactiques diffuses.</p>	
Pays participants	Canada, États-Unis, Royaume-Uni, Mexique
Dates de lancement	juin 2005 – deuxième mission en décembre 2006
Participation canadienne	Conception et construction de la nacelle; du système de commande de guidage; du système de collecte de données; des logiciels de bord, des stations au sol et du système d'alimentation; intégration globale des systèmes
Chercheur principal canadien	Barth Netterfield, University of Toronto
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of British Columbia University of Toronto Agence spatiale canadienne Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie Ontario Innovation Trust



Missions d'astronomie	
Partenaires de l'industrie canadienne	AMEC Dynamic Structures, Port Coquitlam (Colombie-Britannique)
Sites Web : cmbr.physics.ubc.ca/blast - chile1.physics.upenn.edu/blastpublic	
Missions en cours de développement	
<p>SPIRE et HIFI à bord de Herschel</p> <p>La mission Herschel de l'Agence spatiale européenne, qui fait partie du programme Cosmic Vision de l'Agence, constitue un important observatoire à utilisateurs multiples voué à des études dans les régions submillimétriques et de l'infrarouge lointain du spectre électromagnétique. Les principaux objectifs scientifiques concernent la formation des étoiles et des galaxies, ainsi que les interactions entre les deux.</p>	
Pays / région participants	Europe, Canada, États-Unis
Année de lancement	2007
Participation canadienne	Le Canada fournit deux des trois instruments à bord de Herschel : SPIRE (Récepteur d'imagerie spectrale et photométrique) – Le Canada fournit le banc d'essai, l'appui à l'analyse de données, le soutien logiciel, l'équipe d'essai de l'instrument, et le centre de contrôle HIFI (instrument hétérodyne pour l'infrarouge lointain) – Le Canada fournit l'oscillateur local
Chercheurs principaux canadiens	David Naylor, University of Lethbridge (pour SPIRE) Michael Fich, University of Waterloo (pour HIFI)
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of Lethbridge University of Waterloo Agence spatiale canadienne
Partenaires de l'industrie canadienne	COM DEV, Cambridge (Ontario)
Sites Web : astro.uwaterloo.ca/HIFI - spire.uleth.ca - www.esa.int/esaSC/120390_index_0_m.html	
<p>HFI et LFI à bord de Planck</p> <p>Planck, qui fait partie du Programme Cosmic Vision de l'Agence spatiale européenne, est conçu pour prendre des images des anisotropies du rayonnement cosmique fossile sur la totalité de la sphère céleste. Il constituera une source d'informations pour diverses questions de cosmologie et d'astrophysique.</p>	
Pays / région participants	Europe, Canada, États-Unis
Année de lancement	2007

Missions d'astronomie

Participation canadienne	Logiciel d'interprétation rapide et logiciel d'analyse en temps réel pour les instruments HFI (Instrument à haute fréquence) et LFI (Instrument à basse fréquence)
Chercheurs principaux canadiens	Richard Bond, University of Toronto (pour HFI) D. Scott, University of British Columbia (pour LFI)
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of British Columbia University of Toronto Agence spatiale canadienne
Partenaire(s) de l'industrie canadienne	—
Site Web : www.esa.int/science/planck	
<p>UVIT à bord d'AstroSat UVIT sera embarqué à bord de l'observatoire orbital AstroSat de l'Inde. La mission est vouée à l'observation et à l'étude de toute une variété de sources galactiques et extragalactiques dans diverses longueurs d'onde, depuis l'ultraviolet lointain jusqu'aux rayons X.</p>	
Pays participants	Inde, Canada
Année de lancement	2008
Participation canadienne	Détecteurs et composants électroniques pour l'instrument UVIT (Télescope imageur dans l'ultraviolet)
Chercheur principal canadien	John Hutchings, Institut Herzberg d'astrophysique
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	Agence spatiale canadienne Institut Hertzberg d'astrophysique University of Calgary
Partenaires de l'industrie canadienne	Routes AstroEngineering, Kanata (Ontario)
Site Web : www.rri.res.in/astrosat/ (en anglais seulement)	



Missions d'astronomie	
<p>FGS et TFI à bord de JWST : Télescope spatial James Webb</p> <p>Successeur du télescope spatial Hubble et dans le cadre d'un projet piloté par la NASA, le JWST est un observatoire polyvalent qui sera équipé d'une série d'instruments d'astronomie capables d'appréhender une vaste gamme de problèmes non encore résolus dans le domaine de l'astronomie galactique et extragalactique.</p>	
Pays / région participants	États-Unis, Canada, Europe
Année de lancement	2013
Participation canadienne	Capteurs de pointage fin (FGS) Instrument à filtre accordable (TFI)
Chercheurs principaux canadiens	John Hutchings, Institut Herzberg d'astrophysique (pour FGS) René Doyon, Université de Montréal (pour TFI)
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	Université de Montréal Agence spatiale canadienne Institut Herzberg d'astrophysique
Partenaires de l'industrie canadienne	COM DEV, Ottawa et Cambridge (Ontario)
Site Web : www.jwst.nasa.gov	

Exploration planétaire

Le Canada est vivement intéressé à participer, avec divers partenaires internationaux, à des missions d'exploration d'autres corps célestes de notre système solaire, comme Mars, la Lune et différents astéroïdes. Le programme d'exploration planétaire a été approuvé en 1999 dans le cadre du Plan spatial canadien. Il porte notamment sur la recherche au sol, l'établissement de réseaux, et la conception conjointe de missions et d'instruments.

Axé sur les sciences, ce programme met en œuvre des projets de recherche qui sont choisis par voie concurrentielle dans les domaines présentant une valeur scientifique, et qui sont recommandés par le Comité consultatif sur l'exploration de l'espace de l'ASC.

Le Canada possède une vaste expertise dans d'importants créneaux technologiques, comme la robotique spatiale, la télédétection, et la fabrication d'instruments de pointe, tels les lidars, les SAR et

les géoradars. Ces technologies trouvent des applications dans l'étude de l'atmosphère, de la surface et du sous-sol d'autres planètes. Les lidars, quant à eux, peuvent être utiles dans les opérations de navigation lors de l'atterrissage d'engins spatiaux.

L'objectif de l'ASC consiste à exploiter cette expertise technologique de sorte que les scientifiques canadiens puissent participer aux missions planétaires. Un avis d'offre de participation, diffusé en 2004, vise à favoriser le développement de concepts d'instruments qui augmenteront la compétitivité du milieu scientifique canadien.

Thèmes scientifiques abordés : géologie planétaire, atmosphères, magnétosphères et ionosphères planétaires, petits corps célestes du système solaire, exobiologie et astrobiologie, systèmes de soutien à la vie pour les missions habitées, et analogues terrestres d'environnements spatiaux.

Missions lancées et en exploitation : L'ASC souhaite entreprendre des négociations pour assurer une importante participation scientifique et technique du Canada à de grandes missions non habitées d'exploration de Mars, et jouer un rôle de premier plan dans au moins une mission de robotique vers la planète rouge au cours de la prochaine décennie.

Le Canada fournit la station météorologique (MET) à la mission de l'engin Phoenix qui atterrira sur Mars et que la NASA prévoit lancer en 2007. L'instrumentation comprend un lidar qui observera la portion inférieure de l'atmosphère martienne depuis le site d'atterrissage au pôle Nord de la planète. Il s'agira du premier instrument canadien à se poser sur la planète, et du tout premier lidar à fouler le sol de Mars.

De plus, le Canada fournira le Spectromètre d'analyse par particules alpha et rayons X (APXS) à la mission du Mars Science Laboratory (MSL), qui est dirigée par la NASA et doit être lancée en 2009. D'une durée de deux ans, cette mission aura pour but de découvrir s'il y a – ou s'il y a déjà eu – une vie microbienne sur Mars. L'APXS étudiera la composition chimique des roches et du sol martiens, ainsi que des échantillons recueillis à la surface de la planète. Les données ainsi obtenues jetteront un nouvel éclairage sur la question de la vie sur Mars.

L'ASC encourage le recours aux sites canadiens qui présentent des conditions analogues à celles qui prévalent sur Mars. Le Réseau canadien de recherche analogue (RCRA) a été créé pour établir et gérer des sites analogues à ceux d'autres corps planétaires où les scientifiques peuvent se familiariser avec les conditions et les défis associés

aux activités d'exploration et de recherche qui seront menées sur Mars, la Lune et d'autres planètes. Trois sites ont déjà été choisis, dont deux dans l'Arctique et un en Colombie-Britannique. L'ASC finance divers projets de recherche ainsi que l'essai d'instruments sur ces sites de même que sur d'autres sites analogues.

En outre, le Canada participe à des projets menés ici sur Terre pour étudier des cratères, des météorites d'origine martienne, et les mécanismes de survie de diverses formes de vie dans des conditions difficiles. Ces travaux permettent de mieux comprendre la capacité d'autres planètes à soutenir la vie.

L'étude des astéroïdes intéresse également le Canada. À cet égard, il met au point le microsatellite NEOSat voué au repérage et à l'étude d'objets spatiaux à proximité de la Terre, comme les astéroïdes qui traversent la trajectoire de la Terre ou qui pourraient entrer en collision avec elle. Ce microsatellite servira à déterminer les astéroïdes vers lesquels on pourrait envoyer des missions de robotique pour recueillir des échantillons et les ramener sur Terre. NEOSat sera le premier télescope spatial voué à la recherche d'astéroïdes.

Enfin, le Canada contribue aux futures missions habitées d'exploration en participant à des travaux de recherche en sciences de la vie, en médecine spatiale, et sur les systèmes de survie biologique. Notamment, le Canada a dirigé des recherches d'avant-garde sur l'utilisation de plantes comme source durable de nourriture, d'eau et d'oxygène lors de missions spatiales de longue durée.



Missions d'exploration spatiale

Missions en cours de développement

MET à bord de PHENIX

PHENIX, mission dirigée par la NASA, est un atterrisseur fixe qui analysera le sol de Mars aux latitudes élevées, et étudiera le changement climatique et le passé géologique de la planète ainsi que les traces que l'eau y a laissées. La station canadienne MET enregistrera quotidiennement les conditions météorologiques dans les plaines du Nord de Mars.

Pays participants	États-Unis, Canada
Année de lancement	2007
Participation canadienne	Le Canada fournit la station météorologique (MET), comprenant un capteur de pression, trois capteurs de température placés sur un mât, et un lidar
Chercheuse principale canadienne	Diane Michelangeli, York University
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	York University Dalhousie University University of Alberta Commission géologique du Canada
Partenaires de l'industrie canadienne	MDA, Brampton (Ontario), avec l'appui de Optech Inc., Toronto (Ontario)

Site Web : www.yorku.ca/dvm/Phoenix

APXS à bord du Mars Science Laboratory

Le MSL est une plate-forme mobile de longue portée et de longue durée de la NASA, qui servira à déterminer si le sol martien constitue un milieu hospitalier pour la vie, sous quelque forme que ce soit. Il fait partie du programme d'exploration de Mars de la NASA.

Pays participants	États-Unis, Canada
Année de lancement	2009
Participation canadienne	APXS (Spectromètre à particules alpha et rayons X)
Chercheur principal canadien	Ralf Gellert, University of Guelph
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of Guelph Agence spatiale canadienne
Partenaires de l'industrie canadienne	MDA, Brampton (Ontario)

Site(s) Web : —

Missions d'exploration spatiale

<p>NEOSSat Mission entièrement canadienne de microsatellite visant à découvrir des objets circumterrestres et à en déterminer les orbites d'une manière complémentaire aux télescopes terriens de recherche et de suivi, actuels et futurs. NEOSSat sera le premier télescope de recherche d'astéroïdes à être lancé et exploité en orbite terrestre.</p>	
Pays participant	Canada
Année de lancement	2009 (à déterminer)
Participation canadienne	NEOSSat (Near Earth Object Surveillance Satellite) est une mission entièrement canadienne
Chercheur principal canadien	Alan Hildebrand, University of Calgary
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	Agence spatiale canadienne Recherche et développement pour la défense Canada University of Calgary Institute of Aerospace Studies Space Flight Laboratory – University of Toronto
Partenaires de l'industrie canadienne	Dynacon, Toronto (Ontario) (pour la phase A) Routes, Ottawa (Ontario) (pour la phase A)
Site Web : www.routes.com/Programs-Systems%20Engineering.html (en anglais seulement)	
Grands projets	
<p>CARN : Réseau canadien de recherche analogue Réseau mis sur pied pour examiner les endroits qui, sur Terre, reproduisent le mieux les conditions passées ou actuelles de Mars pour faire mieux connaître les facteurs limitatifs pour la vie, les caractéristiques géologiques, ainsi que les stratégies et technologies d'échantillonnage sur Mars.</p>	
Pays participant	Canada
Année de lancement	2005
Participation canadienne	Fourniture d'analogues terrestres de milieux spatiaux au Canada à des fins de développement d'instruments scientifiques



Missions d'exploration spatiale

Chercheur principal canadien	Appel d'offres annuel
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	McGill University University of British Columbia Mars Institute Canada Simon Fraser University Agence spatiale canadienne
Partenaire(s) de l'industrie canadienne	—
Site(s) Web : —	

Science des relations Soleil-Terre

Dans le domaine des relations Soleil-Terre, le Canada compte 167 années d'expérience, remontant à l'installation d'un observatoire du champ magnétique à Toronto. Pendant plusieurs décennies, cet observatoire a été une référence en matière d'étude des relations Soleil-Terre et des interactions entre la haute atmosphère terrestre et les particules électriquement chargées émises par le Soleil. Comme il est situé à des latitudes élevées et qu'il a la grande partie de son territoire accessible sous la région où ces interactions surviennent, le Canada a un emplacement privilégié pour ce type de recherche.

Les études portant sur les relations Soleil-Terre visent à déterminer comment l'énergie est produite, transportée et dissipée à l'intérieur du système formé par le Soleil et la Terre. Les résultats trouvent des applications pratiques sur Terre, notamment dans la prévision des tempêtes solaires susceptibles de causer des dommages aux systèmes de communication, de distribution d'énergie, et de navigation par satellite sur Terre. En outre, ces études nous permettent de mieux comprendre la nature des autres systèmes solaires et astrophysiques de l'univers.

Les travaux de recherche touchant au domaine des relations Soleil-Terre visent l'atteinte des trois objectifs à long terme suivants : mettre sur pied un service de météorologie spatiale pour le compte des Canadiens qui sont vulnérables aux tempêtes solaires et magnétiques; acquérir des connaissances

fondamentales sur la physique des plasmas; et, déterminer l'incidence du Soleil sur les régimes climatiques de la Terre.

Thèmes scientifiques abordés : Comment naissent les champs magnétiques au niveau du Soleil, et quels sont les processus physiques liés au cycle solaire? De quelle façon les champs magnétiques fournissent-ils l'énergie à la couronne solaire et alimentent-ils le vent solaire? Quelle est la physique de l'interaction du vent solaire avec la magnétosphère, et quel est le lien entre cette interaction et la météorologie spatiale? Quel est le lien entre la physique des plasmas et la dynamique de l'atmosphère?

Missions lancées et en exploitation : D'importants projets d'étude sur les relations Soleil-Terre sont en cours de réalisation au Canada et ce, tant depuis l'espace que depuis le sol. La mission ePOP (Sonde de mesure de l'écoulement du plasma dans le vent polaire) comprend huit instruments devant s'envoler à bord d'un petit satellite canadien baptisé CASSIOPE (Cascade, Smallsat, and Ionospheric Polar Explorer). Ces instruments, dont le lancement est prévu en 2008, permettront l'étude des particules neutres et chargées qui s'échappent de l'ionosphère jusque dans la magnétosphère. Un des objectifs majeurs de ce projet de recherche est de déterminer le rôle que joue cet écoulement du plasma dans la formation de tempêtes solaires importantes ou dans la « météorologie spatiale. »

Parallèlement, une équipe de scientifiques issus d'universités et d'organismes de recherche gouvernementaux ont mis sur pied le Programme canadien de surveillance géospatiale (PCSG), un réseau d'observatoires radio, magnétiques et optiques qui sont installés aux quatre coins du Canada, et qui contribuent à l'avancement de nos connaissances concernant les relations Soleil-Terre et l'incidence de celles-ci sur la météorologie spatiale.

Prolongement du programme CANOPUS lancé en 1989, le PCSG réunit en un seul programme national sept projets de recherche au sol. Il s'agit du réseau le plus complet en son genre dans le monde. Le PCSG sera un élément clé du projet international Living With a Star (ILWS), puisqu'il recueillera des informations qui serviront à compléter et à valider les données recueillies par une grande constellation de satellites de recherche internationaux lancés dans le cadre de ce projet entre 2005 et 2015.

Une équipe de chercheurs canadiens exploitera également un réseau au sol à titre d'élément clé de THEMIS, un projet d'étude des sous-tempêtes aurorales qui est piloté par la NASA, et qui comprend aussi un réseau de cinq satellites. En plus de fournir des observations depuis le sol, l'équipe canadienne a élaboré un nouveau logiciel avant-gardiste permettant de stocker et de gérer les énormes quantités de données qui seront produites dans le cadre de l'étude. Les scientifiques canadiens auront un accès privilégié à ces données en raison des contributions technologiques du Canada.

En outre, le Canada participe à l'étude européenne sur le champ géomagnétique de la Terre et sur son évolution dans le temps. Il fournira en effet un instrument de mesure des champs électriques (EFI) à la mission SWARM de l'ESA. Il s'agit là d'un autre exemple des efforts que déploie l'ASC pour faire de l'industrie canadienne un grand fournisseur de systèmes spatioportés.

L'ASC élabore présentement deux concepts pour les années à venir, soit les projets ORBITALS et RAVENS. Le projet ORBITALS (Outer Radiation Belt Injection, Transport, Acceleration and Loss Satellite) repose sur un petit satellite conçu spécialement pour étudier l'accélération, la distribution planétaire, et la variabilité des électrons et des ions énergétiques dans la magnétosphère intérieure. Il est prévu que le satellite ORBITALS sera une contribution canadienne au programme ILWS.

Le projet RAVENS (Recurrent Auroral Visualization of Extended Northern Storms), quant à lui, est une étude conceptuelle qui a été combinée à la mission chinoise Kuafu. Cette dernière prévoit le lancement de deux satellites à orbite polaire pour observer les aurores boréales de façon continue. Pour réaliser ce projet, il faudra mettre au point un nouvel instrument, soit un imageur auroral autocomparatif qui serait installé à bord des satellites chinois.

Missions en relations Soleil-Terre

Missions en cours de développement

ePOP à bord de CASSIOPE

La sonde ePOP comportera huit instruments scientifiques, notamment des imageurs de plasma, des récepteurs d'ondes radio, des magnétomètres et des caméras. Ils recueilleront des données concernant l'impact des tempêtes solaires et, plus particulièrement, leurs effets nuisibles sur les communications radio, la navigation par satellite, et d'autres technologies spatiales.

Pays participants	Canada, États-Unis, Japon
Année de lancement	2008
Participation canadienne	Le Canada a été invité à doter les trois satellites SWARM d'un CEFI (Instrument canadien de mesure des champs électriques), qui mesurera les températures et les vents ionosphériques pour améliorer la compréhension de leur incidence sur les électrons auroraux
Chercheur principal canadien	Andrew Yau, University of Calgary
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of Calgary York University University of Alberta Athabasca University University of Saskatchewan University of Western Ontario University of New Brunswick Agence spatiale canadienne Centre de recherches sur les communications
Partenaires de l'industrie canadienne	MDA, Vancouver (Colombie-Britannique) – entrepreneur principal de la mission Bristol Aerospace, Winnipeg (Manitoba) – fournisseur de la plate-forme
Site Web : www.space.gc.ca/asc/fr/satellites/cassiope.asp	
THEMIS	
Étude de l'instabilité causée par les sous orages magnétosphériques, un mécanisme prédominant de transport et de dégagement explosif d'énergie du vent solaire dans l'espace, qui comprend cinq sondes spatiales et des observatoires au sol.	
Pays participants	États-Unis, Canada

Missions en relations Soleil-Terre

Année de lancement	—
Participation canadienne	Le Canada exploitera 16 observatoires au sol pour appuyer les données des satellites à l'aide d'imageurs à ultra-grand-angulaire qui produisent une carte complète du réseau auroral
Chercheur principal canadien	Eric Donovan, University of Calgary
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of Calgary University of Alberta University of New Brunswick University of Saskatchewan Laboratoire de géomagnétisme – Ressources naturelles Canada
Partenaire(s) de l'industrie canadienne	—
Site Web : www.space.gc.ca/asc/fr/sciences/themis.asp	
<p>SWARM SWARM, qui fait partie du programme Earth Explorer de l'Agence spatiale européenne, est une constellation de petits satellites destinés à l'étude de la dynamique du champ magnétique terrestre.</p>	
Pays / région participants	Europe, Canada
Année de lancement	—
Participation canadienne	Le Canada a été invité à doter les trois satellites SWARM d'un CEFI (Instrument canadien de mesure des champs électriques), qui mesurera les températures et les vents ionosphériques pour améliorer la compréhension de leur incidence sur les électrons auroraux
Chercheur principal canadien	David Knudsen, University of Calgary



Missions en relations Soleil-Terre

Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of Calgary Agence spatiale canadienne
Partenaire(s) de l'industrie canadienne	—
Site Web : www.esa.int/esaLP/ESA3QZJE43D_LPswarm_0.html (en anglais seulement)	
Grands projets	
<p>PCSG : Programme canadien de surveillance géospatiale</p> <p>Le PCSG est un programme coordonné d'observation, d'assimilation de données et de modélisation. Il a essentiellement pour objectif d'améliorer la compréhension du transport de masse et d'énergie à des échelles multiples dans le système solaire. Il s'agit de la contribution du Canada au programme international Living With a Star, un programme de sciences fondamentales et appliquées des relations Soleil-Terre qui regroupe plusieurs organismes et fait appel à plusieurs engins spatiaux.</p>	
Pays / région(s) participants	—
Année de lancement	—
Participation canadienne	PCSG
Chercheurs principaux canadiens	Eric Donavan, University of Calgary Ken Tapping, Institut Herzberg d'astrophysique George Sofko, University of Saskatchewan Robert Rankin, University of Alberta Ian Mann, University of Alberta John MacDougall, University of Western Ontario
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of Alberta University of Calgary University of Saskatchewan University of Western Ontario Agence spatiale canadienne Fondation canadienne pour l'innovation – Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie
Partenaire(s) de l'industrie canadienne	—
Site Web : cgsm.ca	

Sciences physiques et sciences de la vie

L'absence quasi-totale de pesanteur constitue l'une des caractéristiques uniques de l'espace. Un des principaux objectifs du Programme des sciences spatiales est de fournir aux scientifiques canadiens un accès à cet environnement sans pareil au moyen d'une multitude de plates-formes. Certaines de ces plates-formes – la Station spatiale internationale, la navette spatiale et les satellites – sont spatioportées, alors que d'autres – les avions effectuant des vols paraboliques, les fusées-sondes, et les tours d'impesanteur – sont basées au sol. On peut aussi retrouver des environnements de simulation comme des installations de recherche sur l'alitement, des piscines d'entraînement, des habitats sous-marins, et des salles d'isolement.

Sciences physiques

Le programme des sciences physiques de l'ASC veut exploiter la microgravité afin d'améliorer nos connaissances fondamentales sur la nature et le comportement des matériaux, et d'étudier des paramètres qui ne peuvent l'être sur Terre en raison de l'influence dominante de la pesanteur.

Les expériences réalisées en microgravité – que ce soit à bord de satellites, de la navette spatiale ou de la station spatiale – visent à produire de nouvelles données sur les processus chimiques et physiques qui interviennent dans les solides, les liquides et les gaz, et qui pourraient trouver des applications sur Terre. Ces études ont déjà permis d'améliorer certains processus industriels sur Terre, et elles pourraient éventuellement entraîner la création de nouvelles entreprises aérospatiales.

Thèmes scientifiques abordés : Le programme de l'ASC est axé sur trois domaines-clés de la recherche : la science des matériaux, la science des fluides et la biotechnologie.

Missions lancées et en exploitation : L'ASC parraine l'expérience SCCO (coefficient de Soret dans le pétrole brut) qui étudie les effets de la diffusion thermique sur les éléments constitutifs du pétrole. Ces effets sont impossibles à mesurer sur Terre parce qu'ils sont masqués par le phénomène

de la convection induite par la pesanteur. Réalisée à bord d'un satellite russe Foton, cette étude permet d'améliorer les modèles informatiques qu'utilisent les entreprises pétrolières pour apprécier les nouveaux gisements pétrolières avant d'entreprendre les opérations de forage.

Des expériences additionnelles sont prévues en octobre 2007 dans le cadre d'une nouvelle mission Foton parrainée par l'ESA. Une autre étude sera également réalisée à bord du module européen Columbus, un laboratoire scientifique qui doit être ajouté à la Station spatiale internationale à partir de 2007. Cette étude poursuivra les travaux de recherche sur la diffusion thermique, et examinera l'influence des vibrations sur le phénomène de diffusion dans les liquides.

Une étude sur la microgravité parrainée par l'ASC et réalisée en 1997 à bord de la navette spatiale a permis l'élaboration d'un évaporateur ultra-performant et unique en son genre, pouvant trouver de nombreuses applications dans l'industrie, notamment pour le dessalement de l'eau, et la fabrication de médicaments et de lait en poudre. Les expériences menées sur Terre et inspirées par les essais spatiaux ont permis de découvrir une propriété de l'eau liée à la convection jusqu'alors inconnue, qui a été mise à profit dans l'élaboration du nouvel évaporateur. On envisage maintenant de mener des études plus poussées sur la convection dans les liquides à bord de la Station spatiale internationale.

L'ASC prévoit continuer d'appuyer les projets de recherche en microgravité concernant divers matériaux – dont des métaux, des liquides, des tissus biologiques et d'autres substances – pour stimuler le développement d'applications commerciales et industrielles à partir des nouvelles connaissances fondamentales qui seront acquises et ce, pour le mieux-être de la population canadienne. Ces projets seront réalisés à l'aide de diverses plates-formes, notamment des satellites et la Station spatiale internationale.

Missions en sciences physiques

Missions lancées / en exploitation

SCCO : Étude du coefficient de Soret dans le pétrole brut

La mission SCCO de l'Agence spatiale européenne vise à préparer une équipe internationale de chercheurs à l'utilisation scientifique de la Station spatiale internationale. Des mesures précises des coefficients de diffusion et de Soret intéressent autant le milieu scientifique que l'industrie en raison de leur incidence sur l'amélioration des conditions d'extraction du pétrole brut. L'objectif de l'expérience SCCO est de calculer le coefficient de Soret en mesurant la température, la pression et les concentrations de divers échantillons d'hydrocarbures liquides. L'expérience se fait dans les conditions de pesanteur réduite (chute libre) qui règnent dans l'espace afin de réduire le plus possible les effets de la poussée hydrostatique qui a une incidence considérable sur ce paramètre ici sur Terre.

Pays / région participants	Europe, Canada, Russie
Dates de lancement	31 mai – 17 juin 2005
Plate-forme	Satellite russe récupérable Foton
Chercheur principal canadien	Ziad Saghir, Ryerson University
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	Agence spatiale canadienne CRESTech (Centres d'excellence de l'Ontario)
Partenaire(s) de l'industrie canadienne	—

Site Web : www.space.gc.ca/asc/fr/sciences/scco.asp

Missions en cours de développement

IVIDIL / SODI : Influence des vibrations sur la diffusion dans les liquides / Instrument de diagnostic optique réglable

La mission IVIDIL de l'Agence spatiale européenne vise à étudier l'influence des vibrations sur la diffusion dans les liquides. Il est prévu de l'intégrer à la boîte à gants utilisée pour les études en microgravité à bord de la Station spatiale internationale. En raison de l'importance de mesurer avec précision les coefficients de diffusion et de Soret dans des échantillons d'hydrocarbures liquides, il convient aussi de déterminer le rôle des vibrations sur la diffusion. La contribution du Canada consiste à valider les résultats de l'expérience par des simulations numériques, et de quantifier les effets de divers niveaux de vibration sur la diffusion.

Pays / région participants	Europe, Canada, Russie
Année de lancement	Au plus tôt, en 2007
Plate-forme	Station spatiale internationale
Chercheur principal canadien	Ziad Saghir, Ryerson University

Missions en sciences physiques

Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	—
Partenaire(s) de l'industrie canadienne	—
Site(s) Web : —	
<p>Évaluation expérimentale des effets de déformation de surface dans la transition à un écoulement thermocapillaire oscillant vers des ponts liquides de fluide à grand nombre de Prandtl</p> <p>L'expérience de convection de Marangoni menée par la JAXA est l'une de cinq expériences qui seront intégrées à l'installation expérimentale de physique des fluides de la JAXA. Les ponts liquides sont importants pour l'industrie des technologies de l'information; ils sont observés dans la fabrication des matériaux semi-conducteurs quand il y a une transition de la phase liquide à la phase solide. Les objectifs scientifiques du Canada sont de déterminer quantitativement le rôle des vibrations dans la convection engendrée par la tension superficielle (convection de Marangoni) à diverses amplitudes et fréquences, et de comparer les simulations numériques aux données expérimentales.</p>	
Pays participants	Japon, Canada
Année de lancement	Au plus tôt, en 2008
Plate-forme	Station spatiale internationale – Expérience sur la physique des fluides
Chercheur principal canadien	Masahiro Kawaji, University of Toronto
Partenaire(s) des universités et du gouvernement du Canada	—
Partenaire(s) de l'industrie canadienne	—
Site(s) Web : —	
<p>NEQUISOL : Solidification hors équilibre, modélisation de la microstructure des alliages industriels</p> <p>Cette mission de l'Agence spatiale européenne concerne des expériences à bord de fusées sondes et de vols paraboliques, et pourrait éventuellement faire appel à des expériences menées dans le laboratoire de sciences des matériaux se trouvant dans Columbus à bord de la Station spatiale internationale.</p>	
Pays / région(s) participants	—



Missions en sciences physiques	
Année de lancement	—
Plate-forme	—
Chercheur principal canadien	Hani Henein
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of Alberta
Partenaire(s) de l'industrie canadienne	—
Site(s) Web : —	
<p>ICAPS : Interactions entre les systèmes de particules cosmiques et atmosphériques Cette mission de l'Agence spatiale européenne porte sur le comportement de particules en suspension. Elle est unique en raison des possibilités qu'elle offre de fournir d'importants résultats expérimentaux ayant une incidence directe sur plusieurs des disciplines de sciences spatiales de l'ASC (astronomie, exploration planétaire, physique atmosphérique, et sciences physiques).</p>	
Pays / région(s) participants	—
Année de lancement	—
Plate-forme	—
Chercheur principal canadien	Rudolfo Slobodrian
Partenaire des universités et du gouvernement du Canada	Université Laval
Partenaire(s) de l'industrie canadienne	—
Site(s) Web : —	

Sciences de la vie

D'abord et avant tout, le programme des sciences de la vie dans l'espace vise à accroître nos connaissances de base entourant les effets de l'environnement spatial – particulièrement la microgravité et les rayonnements intenses – sur les processus biologiques qui interviennent dans les organismes vivants.

Ces deux particularités du milieu spatial ont une incidence considérable sur la capacité des humains à vivre et à travailler pendant de longues périodes

dans l'espace, que ce soit en orbite terrestre ou dans le cadre de missions d'exploration de la Lune ou de Mars. Nous savons que lorsqu'il s'adapte à la microgravité, le corps humain subit de nombreux changements. Il est donc important de comprendre la nature de cette adaptation, ainsi que ses effets à long terme sur la santé des humains dans l'espace. Il est tout aussi important de déterminer le temps requis par le corps humain pour se réadapter à la pesanteur une fois arrivé sur une autre planète ou au retour sur Terre.

Au Canada, la recherche touche principalement à deux grands volets : l'incidence de la microgravité sur les muscles et les os, ainsi que sur les systèmes cardiovasculaire et neurologique; et, les effets biologiques du rayonnement spatial.

Thèmes scientifiques abordés : perte musculaire, déperdition osseuse et santé musculosquelettique, neurosciences et psychologie, métabolisme et physiologie du système cardiovasculaire, génie tissulaire et biocapteurs, radiobiologie et dosimétrie, biologie du développement. (Les deux grands volets de la recherche mentionnés ci-dessus se divisent donc en plusieurs sous thèmes.)

Missions lancées et en exploitation : Le Canada a parrainé un certain nombre d'études qui ont été menées à bord de la navette spatiale et de la Station spatiale internationale, et qui avaient pour objectif l'étude des questions fondamentales portant sur l'adaptation du corps humain à la microgravité. Pensons, par exemple, à l'expérience H-reflex qui a été réalisée tant à bord de la navette que de la station spatiale. Il s'agissait d'examiner l'incidence de la microgravité sur le système neurologique pour déterminer si certains facteurs réduisaient l'efficacité des exercices que font les astronautes pour atténuer la déperdition osseuse et la perte de tonus musculaire qu'ils subissent dans l'espace, et assurer la santé de leur système cardiovasculaire.

L'étude des effets de la microgravité et de la déperdition osseuse accélérée chez les astronautes revêt un intérêt particulier pour le Canada. En effet, la déperdition osseuse est l'un des problèmes les plus graves auxquels sont exposés les astronautes en missions spatiales de longue durée, comme les missions d'exploration planétaire.

En 2007, un mini laboratoire canadien sera envoyé dans l'espace à bord d'un engin spatial russe inhabité dans le cadre de la mission e-OSTEO (Expériences améliorées sur l'ostéoporose menées en orbite), un projet de 12 jours financé par l'ASC. Cette expérience permettra à trois équipes de chercheurs d'étudier la réaction des cellules du corps humain qui régissent le cycle naturel de formation et de déperdition osseuses en microgravité. Les

chercheurs espèrent que ces travaux permettront de mettre au point des traitements et des mesures préventives contre la perte excessive de tissus osseux qui intervient lors des missions spatiales prolongées.

Une autre expérience, qui devrait être réalisée en 2006 ou 2007 à bord de la Station spatiale internationale, sera principalement axée sur l'étude des causes de la perte de coordination main-œil souvent observée chez les astronautes au début d'une mission spatiale. L'expérience sur les déficits de perception et de motricité dans l'espace (PMDIS) visera à déterminer si les déficits de coordination sont liés à des changements neurologiques, à un stress psychologique ou à des instabilités au niveau de la posture.

Parallèlement, l'expérience CCIS (Contrôle cardiovasculaire et cérébrovasculaire au retour de la Station spatiale internationale) se penchera sur la manière dont le cœur et le système circulatoire s'adaptent aux périodes prolongées de microgravité ou d'alitement.

Les expériences menées au sol ont également constitué un élément clé de la recherche en sciences de la vie. L'ASC a parrainé la participation de deux équipes scientifiques canadiennes au projet WISE (Women International Space Simulation for Exploration), une étude internationale sur l'alitement à laquelle ont participé 24 femmes volontaires. Les effets d'un alitement prolongé sur le corps humain sont semblables à ceux qui sont causés par une exposition prolongée à un environnement de microgravité.

L'une des équipes de chercheurs canadiens s'est penchée sur les liens entre l'alitement et l'anémie, soit une diminution des cellules rouges qui cause la fatigue et pourrait avoir des conséquences graves au cours de vols spatiaux de longue durée. L'autre équipe a, pour sa part, examiné les effets de l'alitement sur le système cardiovasculaire, plus particulièrement le rôle de l'immobilité dans l'apparition d'une hypotension orthostatique, un phénomène pouvant provoquer des vertiges et des



Les astronautes évoluent dans un environnement rude et dangereux.

étourdissements. Les deux études ont également tenté de déterminer s'il était possible de prévenir ces problèmes en effectuant des exercices physiques.

L'ASC a appuyé plusieurs projets visant l'étude des effets biologiques du rayonnement spatial. En 2004, l'ASC a financé la participation du Canada à la mission ICE-First, une étude d'envergure internationale réalisée à bord de la Station spatiale internationale. Cette étude portait sur les effets du rayonnement spatial sur les gènes de *C. elegans*, un petit ver couramment utilisé en recherche génétique.

Des chercheurs canadiens ont aussi étudié l'ampleur des doses de rayonnement auxquelles sont exposés les astronautes. Par exemple, une des expériences s'appuyait sur l'utilisation de dosimètres de fabrication canadienne, lesquels ont été installés à l'intérieur de la combinaison des astronautes pour déterminer le degré d'exposition au rayonnement spatial au cours d'une sortie extravéhiculaire.

Le Canada participe à trois projets en sciences de la vie qui seront menés à bord de la Station spatiale internationale, et qui ont été retenus dans le cadre d'un avis d'offres de participation international, en 2004. Un de ces projets s'intitule BISE (Body in

Space Experiment). Il sera axé sur l'étude des effets de la microgravité sur les processus neurologiques qui permettent aux astronautes de s'orienter grâce à des points de repère internes et externes, et de différencier le « haut » du « bas. » Les enjeux liés à l'orientation revêtent une grande importance pour l'exploitation de l'équipement et l'exécution des procédures d'urgence.

Une deuxième mission, pour sa part, tentera de déterminer si le rayonnement spatial peut causer des mutations et des dommages génétiques aux vers *C. elegans*. Ces derniers sont essentiellement utilisés comme dosimètres biologiques. Enfin, La troisième expérience vise à améliorer notre connaissance des risques cardiovasculaires qui sont associés aux vols spatiaux de longue durée. Elle cherchera plus particulièrement à déterminer si la microgravité entraîne une réaction inflammatoire ainsi que des changements dans la structure des vaisseaux sanguins. Ces deux conditions pourraient accroître les risques de cardiopathie lors des missions de longue durée.

Le Canada est également de plus en plus actif dans un autre domaine de la recherche en sciences de la vie, soit celui des effets des missions spatiales de longue durée sur la psychologie humaine. Au cours d'une mission spatiale, et plus spécialement lors d'un long voyage vers Mars, les membres d'équipage se retrouvent dans un environnement inhospitalier, dangereux, fermé et isolé. Il s'agit là d'une situation reconnue pour être psychologiquement éprouvante et ce, même sur Terre. Le succès de telles expéditions pourrait donc dépendre de la mise au point d'outils permettant aux chercheurs d'évaluer la santé psychologique et la compatibilité des astronautes retenus pour ces missions.

À moyen et long termes, l'ASC entend poursuivre ses travaux de recherche en sciences de la vie dans l'espace dans les domaines où les chercheurs canadiens ont déjà acquis une expertise considérable. L'un des plus grands défis demeure l'accès à la microgravité suite à la perte de la navette Columbia et au ralentissement connexe des opérations à bord de la Station spatiale internationale.

Ainsi, on vise l'élaboration de mesures qui permettront de protéger les astronautes contre les effets potentiellement néfastes des missions spatiales de longue durée, ainsi que l'application des

connaissances fondamentales acquises grâce à cette recherche afin d'améliorer les soins de santé fournis aux Canadiens sur Terre.

Certains de ces projets en sciences de la vie font partie du Programme de médecine spatiale opérationnelle (MSO) de l'ASC, lequel a pour mandat de veiller à la santé et à la sécurité des

astronautes. Avec le temps, l'ASC espère pouvoir mettre à profit son expertise croissante en médecine spatiale et en sciences de la vie afin de permettre à ses astronautes et chercheurs de se tailler une place au sein de missions internationales d'exploration humaine de la Lune ou de Mars.

Missions et grands projets en sciences de la vie

Missions lancées / en exploitation

ICE-First : Expérience internationale sur *C. elegans* – Premier vol

Étude des effets biologiques du rayonnement spatial faisant appel à des vers *C. elegans* comme organismes modèles.

Pays / région participants	Europe, Canada, Japon, États-Unis
Année de lancement	2004
Plate-forme	Navette spatiale
Chercheuse principale canadienne	Dr Ann Rose, University of British Columbia
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	University of British Columbia Agence spatiale canadienne Institut de l'appareil locomoteur et de l'arthrite
Partenaire(s) de l'industrie canadienne	—
Site(s) Web : —	

Missions en cours de développement

CCIS : Contrôle cardiovasculaire et cérébrovasculaire au retour de la Station spatiale internationale

Étude sur l'adaptation de l'appareil circulatoire suite à des périodes prolongées d'alitement ou d'exposition à la microgravité.

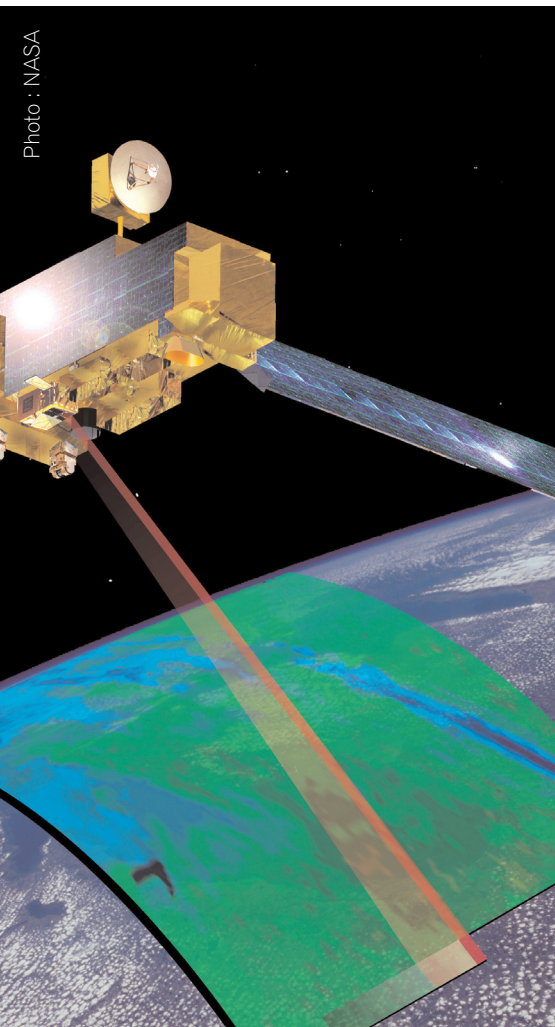
Pays / région(s) participants	—
Année de lancement	2007
Plate-forme	Station spatiale internationale



Missions et grands projets en sciences de la vie

Chercheurs principaux canadiens	—
Partenaire(s) des universités et du gouvernement du Canada	—
Partenaire(s) de l'industrie canadienne	—
Site(s) Web : —	
<p>PMDIS : Déficients de perception et de motricité dans l'espace L'expérience PMDIS, à bord de la Station spatiale internationale, vise à déterminer si la perte de coordination main-œil souvent observée chez les astronautes au début d'une mission est due à l'adaptation neurologique, au stress psychologique ou à une instabilité posturale.</p>	
Pays / région(s) participants	—
Année de lancement	—
Plate-forme	Station spatiale internationale
Chercheurs principaux canadiens	—
Partenaire(s) des universités et du gouvernement du Canada	—
Partenaire(s) de l'industrie canadienne	—
Site Web : www.space.gc.ca/asc/fr/sciences/pmdis.asp	
<p>e-OSTEO : Expériences sur l'ostéoporose en orbite e-OSTEO est une mission de 12 jours qui est vouée à l'étude de la perte osseuse dans l'espace, et qui mise sur le succès de la mission OSTEO précédente, lancée en octobre 1998 à bord de la navette spatiale Discovery.</p>	
Pays / région participants	Europe, Canada, Russie
Année de lancement	2007
Plate-forme	Satellite russe récupérable Foton
Chercheurs principaux canadiens	Dr Reginald Gorczynski, University of Toronto Dr Rene Harrison, University of Toronto Dr Andrew Karaplis, McGill University
Partenaires des universités et du gouvernement du Canada	—
Partenaire de l'industrie canadienne	Millenium Biologix Inc., Kingston (Ontario)
Site(s) Web : —	

La chimie de l'atmosphère – Un paysage complexe



MOPITT sur Terra.

L'atmosphère terrestre est un amalgame complexe d'éléments chimiques dont les interactions sont essentielles à la survie des organismes vivants présents sur la Terre.

La cartographie et la mesure des concentrations des éléments chimiques présents dans l'atmosphère sont primordiales pour l'étude des conditions météorologiques et climatiques, de la qualité de l'air, des niveaux de pollution, et de l'état de la couche d'ozone, laquelle protège la Terre contre les dangereux rayons ultraviolets émis par le Soleil.

Les défis scientifiques et techniques associés à la mesure de ces éléments et à la compréhension de leur rôle dans l'atmosphère sont majeurs. MOPITT et SCISAT, deux projets de recherche en sciences atmosphériques parmi de nombreux autres parrainés par l'Agence spatiale canadienne, aident les scientifiques à faire de grandes avancées afin de surmonter ces défis.

L'instrument canadien MOPITT (mesure de la pollution dans la troposphère) est fourni dans le cadre d'une mission internationale, et permet d'établir le mouvement du monoxyde de carbone (CO) à l'échelle planétaire. Les données fournies par MOPITT sont utilisées pour évaluer les niveaux de pollution dans la basse atmosphère ou la troposphère.

SCISAT, un satellite entièrement canadien lancé en 2003, transporte à son bord l'Expérience sur la chimie atmosphérique (ACE) qui vise à observer l'appauvrissement de la couche d'ozone dans la haute atmosphère, plus particulièrement au-dessus du Canada et de l'Arctique. Les mesures effectuées dans le cadre d'ACE ont aussi été utilisées dans le cadre d'études portant sur la pollution atmosphérique et le changement climatique.

MOPITT

MOPITT représente la contribution du Canada au Système d'observation de la Terre (EOS) de la NASA, un projet de recherche international sur l'environnement. MOPITT, l'un des cinq instruments embarqués à bord du satellite Terra de la NASA, mesure la concentration et les déplacements du CO dans l'atmosphère à l'échelle de la planète. Le CO est un gaz qui est produit lors de la combustion incomplète de combustibles fossiles et de la combustion de biomasse, comme dans le cas des feux de forêts et du brûlage agricole.

James Drummond, professeur de physique à l'University of Toronto et chef de l'équipe scientifique chargée de la mission MOPITT, dit que le CO intéresse les scientifiques pour plusieurs raisons. Ce gaz est déterminant pour la compréhension de l'état chimique de l'atmosphère, il permet d'identifier les sources de biomasse brûlée, et il peut aussi être utilisé pour faire le suivi d'autres polluants qui ne peuvent être mesurés directement.

Le CO est mu par les courants d'air dans la troposphère, « courants que nous pouvons suivre », de dire Drummond. Il explique que le CO est utile

dans ce cas-ci puisqu'il demeure dans l'atmosphère pendant un certain temps. Il est présent juste assez longtemps pour qu'on puisse le mesurer, mais pas trop pour qu'il se répartisse uniformément autour du globe.

« Cela signifie que les scientifiques peuvent s'en servir comme témoin pour d'autres gaz », de dire Drummond. « Le monoxyde de carbone nous indique comment d'autres éléments chimiques d'une durée de vie semblable sont transportés dans l'atmosphère. Mais il nous est impossible de les suivre tous. Si vous souhaitez savoir quel

pourcentage de la pollution produite dans le Nord-Est des États-Unis est transporté jusqu'en Europe, le monoxyde de carbone est un bon indicateur. »

MOPITT est le premier instrument qui permet de documenter le déplacement des polluants sur de grandes distances au-dessus des continents et des océans, et de cartographier la pollution à l'échelle planétaire.

Drummond dit avoir remarqué « des changements significatifs » dans les concentrations de CO découlant des feux de forêts en Sibérie et en Amérique du Nord ainsi que des activités anthropiques et naturelles de brûlage de biomasse dans les tropiques.

L'un des objectifs de la mission MOPITT est de faire le suivi des concentrations de CO sur une longue période afin de dégager des tendances. Cette mission, d'une durée initiale de cinq ans, a été prolongée à dix ans. Jusqu'à maintenant, les scientifiques ont été surpris par la variabilité annuelle des concentrations de CO. « Nous avons, pour la première fois, une vision globale », de dire Drummond. Il y a à peine vingt ans, nous ne disposions pas de capacités de couverture aussi détaillées, c'est pourquoi « nous avons plus de difficulté que prévue à déterminer ce qui est normal. »

Drummond a aussi été surpris par la quantité assez phénoménale de CO produit dans les régions équatoriales, où les activités de brûlage de la biomasse font partie du cycle agricole. La quantité de CO provenant de cette source n'était pas connue auparavant.

Selon lui, les découvertes faites par MOPITT ont eu une incidence significative sur l'étude de l'atmosphère. Par exemple, les données de MOPITT sont exploitées par les scientifiques qui étudient d'autres polluants et éléments chimiques à l'aide d'instruments au sol ou aéroportés. Les cartes en temps réel sur la répartition du CO leur fournissent de précieuses informations sur les zones à cibler.

On utilise également les données de MOPITT pour améliorer les modèles informatiques sur le déplacement des éléments chimiques dans la basse atmosphère. De tels modèles n'existaient pas autrefois puisque « nous n'avions pas les connaissances nécessaires », d'expliquer Drummond. « Des modèles assez poussés dotés de capacités de prédiction commencent à faire leur apparition. » (Voir l'encadré sur La modélisation.)

PEARL

Il faut plus que des satellites pour documenter tout ce qui se passe dans l'immense atmosphère terrestre. Les instruments au sol, aéroportés et lancés en ballons sont tout aussi importants et ce, non seulement pour les données qu'ils recueillent, mais parce qu'ils permettent aussi de valider les informations produites par les satellites.

Tous les satellites scientifiques doivent subir un essai de validation afin de prouver, en substance, que les données qu'ils produisent sont exactes. Pour réaliser ce projet, on se sert d'instruments au sol qui mesurent en simultané la même région de l'atmosphère analysée par le satellite, de façon à pouvoir comparer les données des deux sources.

C'est là une des tâches réalisées par le nouveau Polar Environment Atmospheric Research Laboratory (PEARL) du Canada, l'une des stations de recherche permanentes les plus près du pôle Nord, dans l'Extrême Arctique. Doté d'instruments permettant de mesurer la température, la vitesse et l'orientation des vents, la composition de l'atmosphère, les nuages, et les précipitations, ce laboratoire a pour mandat de mesurer le déplacement des polluants atmosphériques aux hautes latitudes.

Ces données peuvent également servir à vérifier la précision des données satellitaires. « La capacité de validation à de très hautes latitudes revêt un grand intérêt pour le Canada », de dire James Drummond, professeur de physique à l'University of Toronto et chef du projet PEARL.

Il dit qu'il est important de disposer d'un site de recherche permanent puisque cela permet aux scientifiques de recourir à différents instruments et de réaliser de nombreux essais sur une longue période. Plus nous disposons de données de ce type, meilleure est notre capacité d'évaluer la précision des données satellitaires.

Drummond insiste sur le fait que la validation est un procédé continu, et non une étape survenant uniquement une fois le satellite lancé. Il s'agit d'un processus essentiel à la compréhension des phénomènes qui se produisent dans l'atmosphère sur de très longues périodes. « Pour bien comprendre les tendances, il faut pouvoir compter sur un programme de validation fiable et à long terme. »

SCISAT/ACE

Alors que MOPITT étudie ce qui se passe dans la basse atmosphère, SCISAT se concentre sur la haute atmosphère – sur la stratosphère, où se trouve la couche d’ozone. SCISAT fournit les mesures les plus précises à ce jour sur les éléments chimiques ayant une incidence sur l’ozone, qui nous protège contre les dangereux rayons ultraviolets émis par le Soleil en en bloquant une grande partie avant qu’ils n’atteignent le sol.

Les instruments de SCISAT peuvent mesurer plus de 30 molécules différentes, « ce qui est plus que tout autre satellite présentement en orbite », de dire Peter Bernath, professeur de chimie à l’University of Waterloo et chef de l’équipe scientifique chargée de la mission SCISAT.

L’ozone, qui est constitué de trois atomes d’oxygène, est continuellement formé puis détruit par des processus chimiques naturels se produisant dans l’atmosphère. La quantité d’ozone présente varie selon l’équilibre qui règne entre les processus de création et de destruction de l’ozone.

Les activités industrielles sur Terre engendrent des produits chimiques, notamment des chlorofluorocarbones (CFC), qui modifient cet équilibre en détruisant l’ozone stratosphérique. Non seulement les CFC contribuent-ils à appauvrir la couche d’ozone protectrice, ils créent, chaque année, de grands trous dans cette dernière au-dessus de l’Antarctique en plus de l’amincir considérablement au-dessus de l’Arctique. Au cours des deux dernières décennies, les concentrations moyennes d’ozone au-dessus du Canada ont diminué d’environ 6 %, alors qu’on a observé une importante réduction variant entre 20 et 40 % au-dessus de l’Arctique.

Le satellite SCISAT, qui transporte ACE à son bord, a été placé sur une orbite de 650 km d’altitude à forte inclinaison, ce qui lui permet de survoler les régions polaires de la Terre, de même que les zones tropicales et les latitudes moyennes. ACE sert à mesurer les molécules chimiques qui ont une incidence sur la distribution de l’ozone stratosphérique, particulièrement dans l’Arctique. Les données ainsi

produites contribuent grandement à l’élaboration de politiques environnementales internationales visant à protéger la couche d’ozone, comme le Protocole de Montréal qui interdit l’utilisation de certains CFC.

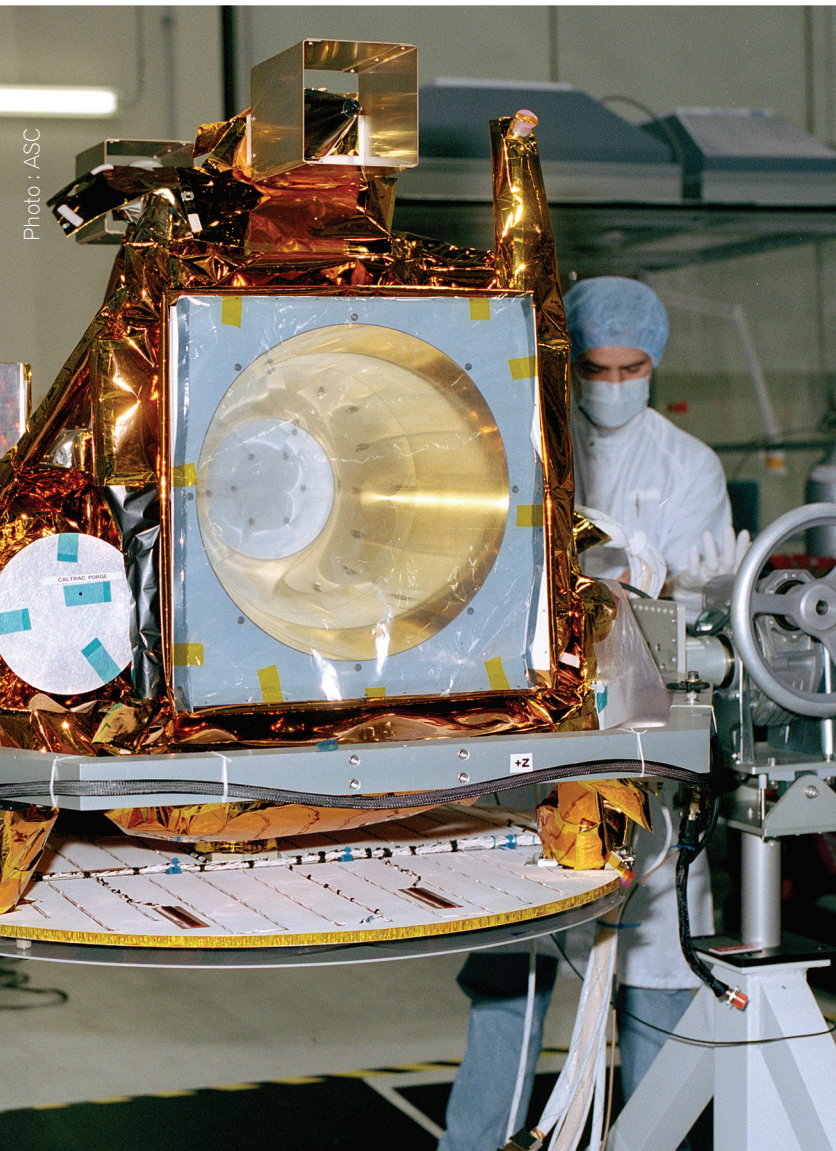
Les observations faites par SCISAT aident également les scientifiques à mieux comprendre les effets de la chimie atmosphérique, des nuages et des petites particules (aérosols) sur le climat terrestre.

ACE sert à mesurer le degré d’absorption de la lumière, par l’atmosphère, au lever et au coucher du Soleil. Les différents composants atmosphériques absorbent différentes longueurs d’onde de la lumière. Il s’agit en quelque sorte d’une signature qui nous permet d’identifier ces composants. C’est cette technique qui permet aux instruments d’ACE d’effectuer des mesures d’une très grande précision.

Mais pour atteindre ce niveau de précision, il a fallu faire un compromis. Le satellite SCISAT ne peut prendre des mesures qu’en quelques endroits. D’autres satellites ont une couverture plus planétaire, mais les données qu’ils produisent ne sont pas aussi précises. « C’est pourquoi il est très profitable de combiner les deux », de dire Bernath.

En fait, le satellite SCISAT fonctionne si bien qu’il va au-delà de son mandat original en fournissant des données d’excellente qualité sur l’appauvrissement de la couche d’ozone ainsi que sur le changement climatique, la qualité de l’air et la pollution. « Nous réalisons aujourd’hui bien des choses que nous n’aurions jamais imaginées pouvoir faire au départ », de dire Bernath.

Depuis sa mise en service, ACE a été utilisée pour établir la distribution de plusieurs molécules associées à la pollution atmosphérique et aux activités de brûlage de la biomasse, et a fourni des données complémentaires aux observations de MOPITT. « Ensemble, ces deux instruments permettent de brosser un portrait général de l’atmosphère, et la situation est loin d’être brillante. Une grande partie de la pollution découlant des activités industrielles voyage aux quatre coins de la planète », de souligner Bernath.



Le satellite canadien SCISAT.

Les observations des instruments d'ACE sont également utiles pour la réalisation d'études climatiques. Par exemple, ils ont démontré que l'accroissement déjà observé de la quantité de vapeur d'eau injectée dans la stratosphère avait cessé. La vapeur d'eau est le gaz à effet de serre d'origine naturelle le plus important, et il joue un rôle-clé dans le climat terrestre. « Personne ne savait pourquoi la quantité de vapeur d'eau augmentait, et nous ne savons toujours pas pourquoi l'accroissement a cessé. Le mystère n'est donc pas entièrement levé », de dire Bernath.

D'une durée de vie utile prévue de deux ans, le satellite sera en fait exploité jusqu'en 2007, et Bernath espère que SCISAT continuera de fonctionner plus longtemps encore. « Cette mission est un véritable succès. »

La modélisation

Il y a une véritable interaction entre les modèles informatiques de l'atmosphère et les mesures atmosphériques prises par des satellites, des aéronefs, des ballons, et des instruments au sol. Les données du monde réel peuvent aider les scientifiques à améliorer leurs modèles, et ces derniers peuvent à leur tour aider les scientifiques à recueillir et à interpréter leurs données.

« Il y a des incertitudes de part et d'autre, alors nous utilisons ces deux approches pour l'avancement de nos travaux », de dire Ted Sheppard, professeur de physique à l'University of Toronto, qui travaille sur le Modèle canadien sur l'atmosphère moyenne (CMAM).

Les modèles informatiques reposent sur des formules mathématiques qui expriment les lois fondamentales de la physique et de la chimie. Ils ont pour principal objectif de prévoir l'avenir, allant des conditions météorologiques régnant dans une ville en particulier jusqu'à l'ampleur du changement climatique à l'échelle planétaire au cours du prochain siècle.

Plus les modélisateurs sont informés de ce qui se passe en différents points et moments dans l'atmosphère, plus ils peuvent produire des modèles précis. Selon Shepherd, il est nécessaire de pouvoir compter sur différents types d'observations pour obtenir un portrait détaillé. Par exemple, les satellites peuvent couvrir de grandes zones et observer des régions qui ne pourraient l'être autrement, notamment au-dessus des océans. Les instruments aéroportés, lancés en ballons et installés au sol ont une portée réduite, mais fournissent souvent des données plus détaillées.

« On peut améliorer les modèles en les comparant avec les mesures. Par ailleurs, les modèles peuvent nous aider à comprendre les mesures qui ont été prises », d'expliquer Shepherd. « Lorsque l'on prend une mesure à un endroit et à un moment donné, elle peut ne pas être représentative de la région dans son ensemble. » En misant sur des modèles pour vérifier la cohérence de telles mesures à la lumière des lois connues de la physique, les scientifiques peuvent mieux évaluer les « erreurs de représentativité » dans leurs données.

Les modèles peuvent aussi être utiles avant qu'un instrument soit mis en service, de dire Shepherd. « Même avant d'effectuer des mesures, nous pouvons avoir une idée générale des résultats qui seront obtenus », de dire Shepherd. « Grâce aux modèles, nous savons en gros sur quoi nous pencher. »

Il souligne que CMAM a contribué à définir les objectifs scientifiques et à évaluer les exigences techniques de l'instrument SWIFT (Stratospheric Wind Interferometer for Transport), qui s'envolera à bord de Chinook, un satellite canadien. Chinook, dont le lancement est prévu en 2010, permettra pour la première fois d'observer à l'échelle planétaire les vents stratosphériques et les variations dans les concentrations d'ozone de l'atmosphère.

CMAM facilite également l'élaboration du programme de validation de SWIFT. Shepherd dit qu'il peut permettre aux scientifiques de déterminer le moment, le lieu et l'altitude idéaux pour prendre des mesures simultanées au moyen d'autres instruments aux fins de comparaison avec les mesures prises par SWIFT.

Des étoiles sous haute surveillance



Photo : NASA et ASE

« La chasse à la Terre est officiellement lancée. »

« Il ne s'agit pas ici de la Terre sur laquelle nous vivons », précise Jaymie Matthews, astronome à l'University of British Columbia. Il fait plutôt référence à la chasse aux planètes analogues à la nôtre, cachées là-haut parmi les étoiles.

« Les moyens nécessaires à la détection de planètes semblables à la Terre sont là, à notre portée », de dire Matthews. Au cours d'une récente conférence de presse, il a laissé entendre que d'ici cinq ou 10 ans, des astronomes découvriront une planète de la dimension de la Terre évoluant sur une orbite située dans la zone d'habitabilité d'une autre étoile, là où l'eau peut exister en surface sous sa forme liquide – une condition essentielle à la vie telle que nous la connaissons.

Matthews dirige l'équipe scientifique chargée d'étudier les données produites par MOST (pour microvariabilité et oscillations stellaires), un microsatellite de 60 kg qu'il a affectueusement surnommé « la première mallette spatiale » du Canada. Parrainée par l'Agence spatiale canadienne, la mission MOST repose entièrement sur de la technologie canadienne. Elle a, depuis son lancement, été très fructueuse, produisant d'importants résultats scientifiques à relativement peu de coûts.

Inserée en 2003 sur une orbite polaire haute (820 km) au moyen d'une fusée russe, MOST transporte à son bord un télescope de haute précision équipé d'un miroir de la taille d'une assiette à tarte et capable de mesurer les subtiles variations (oscillations) dans la luminosité de différentes étoiles afin de déterminer leur âge et leur composition interne.

Bien que MOST fasse ce qu'on attendait de lui, et ce de façon exceptionnelle, il a surpris tous les experts en réalisant un exploit imprévu : le satellite a repéré des planètes en orbite autour d'étoiles lointaines. Il ne s'agit toutefois pas de planètes de la taille de la Terre, mais plutôt de géantes gazeuses comme Jupiter. « Jusqu'à tout récemment, les astronomes n'avaient pas les moyens d'explorer les autres systèmes solaires pour tenter d'y découvrir de nouvelles « Terres », alors nous n'avons aucune idée du nombre de planètes semblables à la nôtre qui pourraient exister », de dire Matthews.

Depuis 11 ans, environ 170 « exoplanètes » géantes ont été découvertes. L'observation par MOST de la majorité de celles-ci nous permet de lever une partie du voile sur ces mondes lointains, et nous conduit à nous questionner sur la façon dont naissent et évoluent les systèmes planétaires, dont le nôtre. « Notre système solaire est-il une structure commune, rare ou même unique dans l'univers? », se demande Matthews. « Grâce à ses découvertes, MOST aide

les scientifiques à trouver des bonnes réponses. Que s'est-il passé dans ces autres systèmes stellaires, et pourquoi ces événements ne se sont-ils pas produits dans le nôtre? »

Des étoiles sous haute surveillance

Selon Matthews, le travail de MOST consiste à mettre des étoiles sous filature. Émancipé de l'effet de distorsion de l'atmosphère terrestre, MOST a



Le télescope spatial MOST et son chercheur principal, Jaymie Matthews de l'University of British Columbia.

une vision beaucoup plus claire et précise que celle des télescopes au sol, et son emplacement de choix en orbite lui permet de littéralement « fixer » des étoiles jusqu'à deux mois durant. Ainsi, MOST peut donc détecter de petites variations dans l'intensité de la lumière émise par ces étoiles, ce qui permet aux scientifiques de déterminer l'âge, la nature et la composition de celles-ci.

À l'automne 2006, MOST avait déjà scruté 400 étoiles et recueilli des données impossibles à obtenir depuis le sol. Pour ce satellite fonctionnant au-delà de toute attente, le plus gros problème auquel les scientifiques sont confrontés, selon Matthews, est la gestion de la quantité phénoménale de données produites et des étonnantes découvertes qui en découlent. « Aujourd'hui, nous jetons un regard nouveau sur les étoiles, et nous sommes les seuls à posséder un tel instrument pour l'instant. Nous avons une avance de trois ans sur tous les autres », ajoute-t-il.

(Deux satellites – soit le satellite français COROT et le satellite américain Kepler, qui doivent être lancés en 2006 et en 2008, respectivement – seront eux aussi destinés à la recherche d'exoplanètes de la taille de la Terre. L'équipe scientifique canadienne a d'ailleurs partagé les trouvailles de MOST avec

l'équipe du COROT afin de les aider dans la planification de sa mission. Suite à cette collaboration, l'équipe du COROT a décidé d'accueillir parmi ses membres l'équipe de MOST et de lui fournir un accès à ses données.)

Les activités d'observation stellaire permettent souvent de faire des découvertes inattendues, et la mission MOST n'a pas fait exception. Lorsque MOST mesure l'intensité lumineuse d'une étoile donnée, cela comprend toute la lumière réfléchie par les planètes se trouvant dans la ligne de visée. Lorsqu'une planète passe derrière l'étoile et disparaît temporairement du champ de vision de MOST, le télescope enregistre une faible diminution de la luminosité de l'étoile. « On pourrait comparer cela au changement qui se produit lorsqu'un moustique passe derrière un lampadaire à 1 000 km de distance », de dire Matthews.

Au départ, les scientifiques de la mission MOST ignoraient que le télescope spatial était en mesure d'accomplir cet exploit. « Nous avons été les premiers à sous-estimer les capacités d'un télescope de 15 cm d'ouverture placé sur la bonne orbite et doté des bons instruments », de souligner Matthews.

Et puis, la chasse aux exoplanètes s'est rapidement retrouvée dans le programme de la mission MOST. « Je suis particulièrement fier de dire que nous avons pu ajouter cet élément scientifique de prestige au programme de MOST et ce, sans avoir à changer d'un iota le concept de l'engin spatial, à modifier notre façon de faire et à ajouter un sou à notre budget », d'ajouter Matthews.

De très proches voisins

Fait très intrigant, les géantes gazeuses récemment découvertes sont très rapprochées de leur étoile principale, contrairement à Jupiter et à Saturne qui sont relativement éloignées du Soleil. « Personne ne s'attendait vraiment à découvrir des objets de la taille de Jupiter 20 fois plus près de leur étoile que la Terre ne l'est du Soleil », de mentionner Matthews.

Dénommées « Jupiters chaudes », ces planètes sont en réalité plus faciles à détecter que les géantes gazeuses évoluant sur des orbites moins rapprochées. Plus elles sont proches de leur étoile principale, plus elles tournent rapidement autour de cette dernière

et plus elles fournissent à MOST d'occasions d'observer des éclipses et autres changements périodiques.

Il se peut aussi qu'il existe des « exoTerres chaudes » se trouvant beaucoup plus près de leur étoile principale que la Terre ne l'est du Soleil. Pour l'instant, MOST est le seul satellite capable de les détecter. Une des façons d'y parvenir consiste à mesurer la durée du passage de la géante gazeuse devant l'étoile observée. « S'il s'agit d'une orbite simple qui n'est perturbée par aucun autre phénomène, alors l'exoplanète passera fidèlement devant l'étoile à chaque période orbitale », de dire Matthews.

Toutefois, s'il y a de petites planètes dans les environs, leur attraction gravitationnelle aura une incidence sur la vitesse orbitale de la planète géante. Sommairement, cela signifie que le rendez-vous planétaire pourrait à l'occasion ne pas être aussi fidèle qu'il devrait l'être, la planète se présentant plus tôt ou plus tard que prévu. « MOST est le seul observatoire à ce jour capable d'observer chaque battement de ce métronome planétaire », d'ajouter Matthews. En mesurant ces minuscules changements dans la synchronisation du passage de la géante devant son étoile, les scientifiques peuvent calculer la masse et l'orbite des petites planètes qui ne peuvent être observées directement.

Lorsqu'on a pointé le télescope MOST sur une étoile autour de laquelle tournait une géante gazeuse connue, il n'a pas décelé de planètes semblables à la Terre, là où les scientifiques s'attendaient à en trouver. « Si de telles planètes ayant une masse semblable – ou même inférieure – à celle de la Terre évoluaient sur certaines orbites-clés près de la géante gazeuse connue, nous les aurions détectées », de dire Matthews.

« Loin d'être une déception, ce résultat est en fait très stimulant », explique-t-il. « Nous ne savons toujours pas pourquoi ces immenses planètes gazeuses se trouvent si près de leur étoile principale, et comment elles y sont restées », de mentionner Matthews. « Certaines d'entre elles peinent même à survivre. »

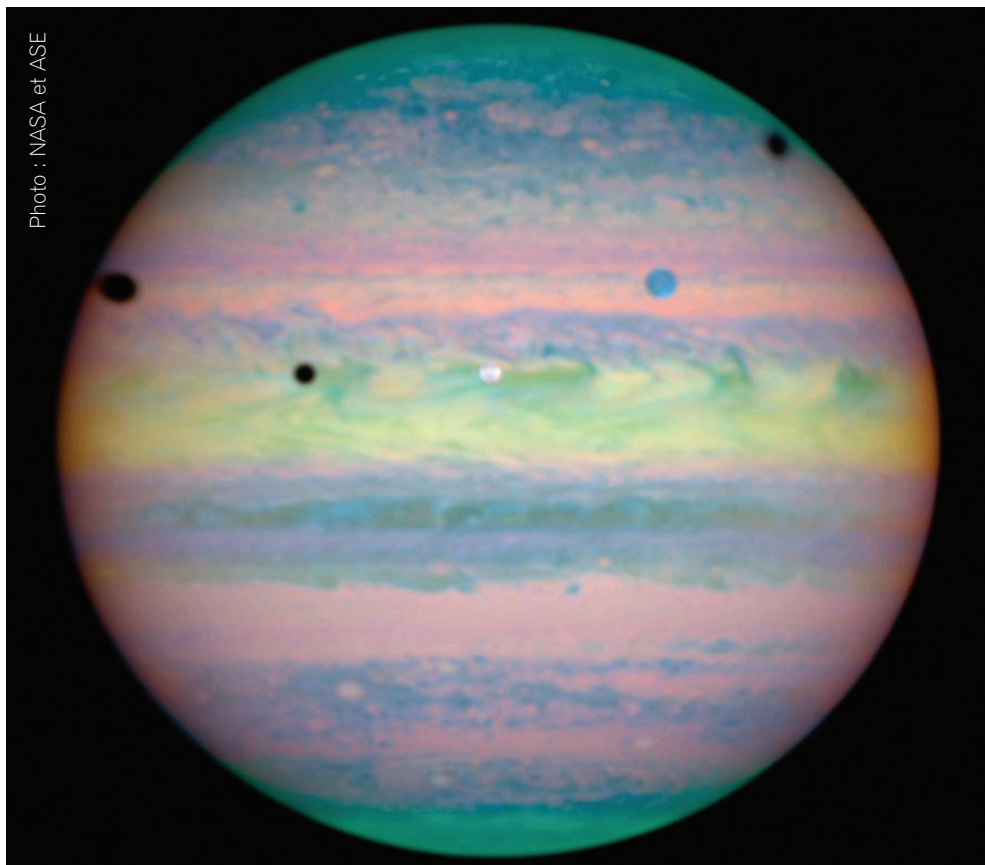



Photo : NASA et ASE

Jupiter dévie les comètes et protège les autres planètes du système solaire.



On se demande notamment comment il se fait que ces géantes gazeuses ne se sont pas effondrées sur leur étoile principale. « Pourquoi leur trajet s'est-il arrêté sur leur orbite actuelle? », se demande Matthews. « Selon une des grandes théories actuelles, ces géantes gazeuses évoluent sur des orbites stables parce qu'il y a des planètes d'une masse analogue – ou inférieure – à celle de la Terre qui gravitent sur des orbites complémentaires, et dont la force gravitationnelle confère à ces géantes une certaine stabilité orbitale. Nous avons pu mettre cette théorie à l'essai dans un système stellaire particulier, mais malheureusement elle ne s'appliquait pas à ce système précis. Cela a donc contribué à épaissir le mystère. »

Les scientifiques se demandent également pourquoi ce phénomène ne s'est pas produit dans notre système solaire. Le fait que Jupiter soit considérablement éloignée du Soleil est l'un des facteurs prédominant de la présence de vie sur la Terre. Matthews compare d'ailleurs Jupiter à un immense aspirateur à comètes qui a servi à protéger les planètes intérieures, dont la Terre, contre les fréquents bombardements cosmiques. « Jupiter, sur son orbite, constitue en quelque sorte un bouclier cométaire. Sans elle, la Terre serait percutée vraisemblablement 1 000 fois plus souvent par des bolides de la taille de celui que l'on croit à l'origine de l'extinction des dinosaures, il y a 65 millions d'années. N'eût été d'elle, qui sait si, avec tous ces cataclysmes, la vie avait pu foisonner sur la Terre », d'ajouter Matthews.

Les récentes découvertes d'exoplanètes viennent remettre en question nos postulats initiaux voulant que le modèle de notre système solaire soit répandu. « Au bout du compte, la réalité s'est révélée bien différente de nos attentes », de dire Matthews. « Il est encore trop tôt pour tirer des conclusions, mais il se peut que nous en venions à conclure que, finalement, c'est peut-être notre système solaire qui constitue l'exception. »

Pour Matthews, l'étude des étoiles nous permet de jeter un regard renouvelé sur notre petit coin d'univers. « L'étude des étoiles lointaines nous permet d'en apprendre davantage sur notre étoile, sur notre propre planète, sur leur création, et sur l'évolution que ces objets célestes subiront dans le futur. Nous pourrions ainsi mettre à profit ces informations pour devenir de meilleurs locataires de la Terre et du système solaire », de souligner Matthews.

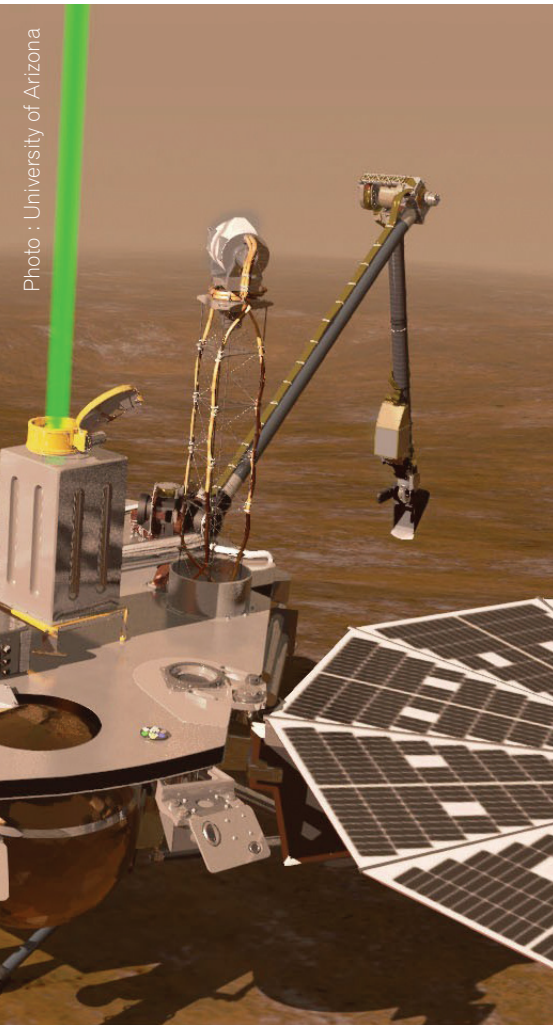
Il ajoute d'ailleurs que les missions d'observation de Vénus dans les années 1960 ont permis de sensibiliser pour la première fois la population mondiale aux effets graves du réchauffement climatique. Cela a amené les gens à se dire que si notre planète voisine avait subi un réchauffement climatique causé par des gaz à effet de serre, ce phénomène pourrait peut-être se produire sur la Terre également. Je crois sincèrement que c'est à partir de ce moment-là que les gens ont pris conscience du problème. N'eût été de ces études, nous ne nous serions probablement inquiétés sérieusement du réchauffement climatique de notre planète que des décennies plus tard.

Sur les traces de Galilée

Pour Matthews, MOST perpétue une tradition qui remonte à Galilée. « Aujourd'hui encore nous faisons de la science fondamentale telle qu'en faisait Galilée », dit-il, ajoutant que les découvertes des dernières années en astronomie et celles qui découlent de projets comme MOST ont un impact aussi déterminant sur la science.

« Je crois que le grand public ne réalise pas à quel point notre conception de l'univers a radicalement changé au cours du dernier siècle. Il y a un peu plus de dix ans, nous ne savions pas s'il existait d'autres systèmes solaires. Je crois que des historiens et des scientifiques se pencheront sur notre époque – sur le dernier siècle et, plus particulièrement, ces dernières décennies – de la même façon que nous étudions les époques de Galilée et de Copernic et leur vision qui a modifié le monde. C'est une époque magnifique pour être astronome », conclut-il.

Comprendre le cycle de l'eau sur Mars



L'atterrisseur Phoenix.

Il suffit de suivre l'eau.

Ce sera là la mission de l'engin spatial Phoenix lorsqu'il atterrira près du cercle arctique de la planète Mars, à l'été 2008. Le sort – passé, présent et futur – de l'eau sur Mars a toujours fasciné les scientifiques parce que là où il y a de l'eau, il peut y avoir la vie.

« L'eau est l'élément essentiel à la vie, telle que nous la connaissons. S'il y a donc de la vie sur Mars, on s'attend à ce qu'elle soit intimement liée à la présence d'eau là-bas », de dire Peter Taylor, qui enseigne l'ingénierie et les sciences de la Terre et de l'espace à York University, à Toronto. Taylor est l'un des nombreux scientifiques canadiens¹ travaillant à la mission américaine Phoenix, laquelle sera la toute première à se poser si près du pôle Nord martien (environ au 70^e parallèle nord).

L'équipe scientifique chargée de la mission Phoenix, qui est composée de deux bonnes douzaines de chercheurs, est pilotée par Peter Smith, spatiologue de l'University of Arizona. Cette mission, réalisée au coût de 386 millions de dollars US et qui a été retenue par la National Aeronautics and Space Administration (NASA) en 2003 parmi 25 propositions, s'inscrit dans le cadre du programme des missions Scout de la NASA, lequel vise le développement de petites missions d'exploration spatiale à faible coût. Portant le nom de l'oiseau mythique qui renaît de ses cendres, cette mission misera sur un atterrisseur déjà existant qui a été remis suite à l'annulation d'une mission antérieure.

La mission Phoenix amènera avec elle une station météorologique canadienne, laquelle est actuellement construite à Brampton, en Ontario, par la société MDA, avec l'appui d'Optech Inc. de Toronto, en Ontario, en vertu d'un marché accordé par l'Agence spatiale canadienne.

La station météorologique permettra d'étudier les conditions météorologiques qui règnent dans la couche limite – la partie de l'atmosphère qui est située quelques kilomètres au-dessus du sol. Ces observations météorologiques, les premières à être effectuées depuis la surface de Mars dans la région polaire, seront capitales pour la compréhension du cycle de l'eau sur cette planète.

« De grandes quantités de glace se trouvent sous la surface de Mars à ces latitudes, et nous n'en savons que très peu sur le cycle de l'eau et les interactions de la glace souterraine avec l'atmosphère et les calottes polaires », de dire Taylor. « Ce que nous souhaitons, c'est d'en apprendre davantage sur les conditions qui règnent à ces latitudes puisque les missions antérieures ont toutes atterri près de l'équateur. » Il ajoute qu'aucune mesure

¹ L'équipe scientifique canadienne comprend les cochercheurs Diane Michelangeli, Allan Carswell, Peter Taylor et Jim Whiteway de York University, Tom Duck de Dalhousie University, Carlos Lange de l'University of Alberta, Victoria Hipkin de l'Agence spatiale canadienne, et David Fisher de la Commission géologique du Canada.



météorologique n'a été effectuée sur la surface martienne, à l'exception des mesures prises par la sonde Viking, au milieu des années 1970, et de l'engin explorateur (*rover*) de la mission Pathfinder, en 1997.

Présentement, l'eau qui a été découverte sur Mars n'existe que sous les formes solide et gazeuse, soit de la glace et de la vapeur d'eau. Les scientifiques croient que l'interaction entre la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère et la glace qui se trouve en surface – ou près de celle-ci – constitue l'un des éléments-clés des conditions météorologiques et du climat martiens. Nous n'avons trouvé jusqu'à maintenant aucune trace d'eau liquide à la surface de Mars, mais les missions antérieures envoyées sur la planète ont indiqué que l'eau y avait déjà coulé.

Après s'être posé dans une région riche en glace, préalablement cernée par l'orbiteur Mars Odyssey, l'atterrisseur de la mission Phoenix déploiera son bras robotique pour recueillir des échantillons de sol et de glace en dessous de la surface, lesquels échantillons seront analysés par des instruments de bord. Les scientifiques espèrent que les résultats de cette mission permettront de jeter un éclairage nouveau sur l'histoire de l'eau liquide sur Mars. Selon eux, de l'eau liquide pourrait avoir coulé dans les régions arctiques de la planète il y a environ 100 000 ans, ce qui leur laisse penser que le sous-sol martien pourrait renfermer des traces de vie microbienne.

La station météorologique comprendra trois capteurs de température et un capteur de pression (fourni par la Finlande) qui seront installés sur un mât d'un mètre de haut fixé à même la plate-forme de l'atterrisseur. Elle mesurera en continu la température et la pression atmosphérique au site d'atterrissage. La station comprendra également une « manche à vent » (fournie par le Danemark) – un petit cylindre métallique qui sera photographié par les caméras du module d'atterrissage et utilisé pour déterminer la vitesse des vents. Le taux d'humidité sera également mesuré.

Parmi les autres instruments-clés de cette mission, il y a le lidar (détection et télémétrie optique) qui permettra de recueillir des données sur les particules de glace et les poussières atmosphériques. Le lidar fonctionne à peu près de la même façon que le radar, mais il émet des pulsations laser plutôt que des ondes radio. La lumière ainsi émise est réfléchiée par les particules et, en mesurant le délai entre

l'émission et la réception du signal et l'intensité de la lumière réfléchiée, les scientifiques sont en mesure de déterminer la quantité et l'emplacement de ces particules.

Si le Canada a pu participer à la mission Phoenix, c'est en grande partie grâce aux travaux novateurs réalisés dans le domaine des lidars par Allan Carswell, scientifique travaillant pour le compte de York University. Il y a plusieurs années de cela, l'entreprise Optech, qui a été fondée par Carswell, a fourni un lidar pour l'étude des tourbillons de poussière en Arizona. Aujourd'hui, les entreprises MDA et Optech en sont à construire le premier lidar qui sera exploité sur la surface martienne.

Poussières et nuages de glace

« Le lidar permettra de détecter la présence de poussière, de brouillard et de nuages de cristaux de glace dans la basse atmosphère », souligne Diane Michelangeli, professeure à York University et responsable de l'équipe scientifique canadienne. « Les nuages contribuent à la répartition de l'eau dans l'atmosphère d'une planète et à sa précipitation au sol. Il est donc primordial d'améliorer nos connaissances sur la formation et l'évolution des nuages, ainsi que sur le mouvement des éléments constitutifs de la basse atmosphère, si nous souhaitons mieux comprendre le cycle de l'eau et sa capacité à favoriser la vie », ajoute-elle.

Selon Taylor, le lidar devrait être en mesure de détecter les nuages de cristaux de glace d'eau évoluant assez près du sol, soit jusqu'à environ 10 km d'altitude.

La mesure des particules de poussière est également un aspect important pour la compréhension du climat et des conditions météorologiques qui règnent sur Mars, puisque ces particules influencent le flux de l'énergie solaire dans l'atmosphère et sont déterminantes en ce qui concerne la formation des nuages. Sur Mars, les vents peuvent soulever la poussière et former aussi bien de petits tourbillons de poussière localisés que des tempêtes de sable durables pouvant envelopper de vastes régions de la planète.

Ces tempêtes constituent un risque potentiel pour les futures missions d'exploration habitées, et peuvent également avoir une incidence néfaste sur le rendement des véhicules autonomes qui dépendent souvent de l'énergie solaire pour fonctionner. « Si une grande quantité de poussières

est soulevée dans l'atmosphère, cela réduit la quantité d'énergie solaire disponible en surface et nuit au rechargement des batteries pendant le jour », de dire Taylor.

Grâce à sa capacité de détection des particules de poussière, le lidar permettra aux scientifiques d'approfondir leurs connaissances sur la couche limite de l'atmosphère martienne, cette couche que l'on retrouve tout juste au-dessus du sol et où la plupart des turbulences se produisent – où la chaleur, la poussière, la vapeur d'eau et d'autres gaz se mélangent et interagissent avec l'atmosphère et le sol. Selon Taylor, la couche limite sur Mars est, de façon générale, plus élevée que celle de la Terre (environ 4 à 5 km de plus en altitude pendant le jour, au 70° parallèle nord) en raison du réchauffement causé par le Soleil. Par contre, cette couche est moins importante que celle de la Terre pendant les nuits martiennes.

« Nous croyons que le lidar nous permettra de déterminer l'épaisseur de la couche limite », affirme-t-il. « Nous espérons pouvoir détecter un horizon, soit un changement dans la concentration des particules de poussière à l'altitude correspondant au sommet de la couche limite. » Cela dépendra toutefois de la taille des particules de poussière. Si elles sont assez grosses pour retomber rapidement la nuit venue, alors les scientifiques seront en mesure de voir le sommet de la couche limite. Malheureusement, certaines particules de poussière martienne sont très fines et, une fois soulevées dans l'atmosphère, elles ne retombent que très lentement au sol, voire jamais.

Les membres du groupe de Michelangeli, accompagnés de John McConnell, un autre scientifique de York University, contribueront à l'interprétation des données recueillies sur Mars. Pour réaliser ce projet, ils utiliseront des modèles informatisés semblables à ceux qui sont utilisés pour établir les prévisions météorologiques et climatiques sur la Terre. Du même coup, ils analyseront la chimie de l'atmosphère martienne et le rôle joué par les particules de poussière.

Préparatifs en vue du lancement

La station météorologique devrait être livrée à l'automne 2006 pour un lancement prévu à l'été 2007. Pendant que l'entreprise MDA fabrique les instruments, l'équipe scientifique canadienne mène des études et effectue des essais visant à préparer le programme de recherche qui sera mis en œuvre lorsque l'engin sera arrivé sur Mars. Par exemple, l'équipe de York a mis à l'essai des éléments du capteur de température provenant du même lot que



Photo : Projet Haughton-Mars 2005

L'Arctique canadien permet aux chercheurs de tester leurs expériences dans des sites analogues à Mars.

ceux qui sont destinés à l'engin spatial, et a construit et testé au banc un lidar similaire sur le plan technique à celui qui sera envoyé sur Mars.

Taylor et ses étudiants ont également participé à une étude qui a débouché sur une modification du concept de l'instrument qui sera utilisé pour recueillir des échantillons de glace en dessous de la surface. Suite à ses précédentes recherches sur le soufflage de la neige, Taylor savait que lorsque la neige est soufflée dans le vent, elle se sublime – elle passe de l'état solide à l'état gazeux. Il s'est alors demandé si ce phénomène se produisait également avec la glace qui avait été prélevée dans le sol au moyen d'un dispositif à pelle installé à l'extrémité du bras robotique de Phoenix, un processus laborieux nécessitant plusieurs heures.

« Il nous a semblé que le prélèvement de ces petits éclats de glace et leur livraison à un instrument d'analyse plusieurs heures plus tard pouvait poser un problème. Nous nous sommes dit que ces cristaux de glace pourraient fort bien se sublimer. Si le prélèvement d'un échantillon de glace suffisamment important prend plusieurs heures, l'opération ne servira à rien puisque les cristaux de glace se seront vaporisés. » Selon ses calculs, les cristaux de glace se subliment au bout de seulement trente minutes à une température de -30 °C.

Étant donné que sa théorie a été accueillie avec scepticisme, Taylor a demandé à l'un de ses étudiants travaillant dans l'Arctique canadien d'effectuer quelques expériences à ce sujet. Parallèlement, Taylor et d'autres étudiants ont réalisé des expériences dans une salle de York University où sont reproduites les conditions martiennes. « Nous avons observé que si la température demeurait inférieure à environ -40 °C, les échantillons de glace ne courraient pratiquement aucun risque et ne perdraient qu'une masse négligeable sur une période d'environ huit heures. Mais si la température augmentait pour atteindre les -30 °C, voire -20 °C, alors ils se sublimenteraient en totalité. Une température de -20 °C constitue donc un problème de taille. »

« Il a donc été décidé d'ajouter au véhicule Phoenix un petit foret à l'extrémité du bras robotique afin d'accélérer le processus de prélèvement d'échantillons de glace. Ainsi, ces derniers pourront être analysés en deux ou trois heures seulement, plutôt que huit ou neuf heures après leur collecte, comme il fut prévu au départ. »

L'engin spatial Phoenix est conçu pour fonctionner pendant 90 sols (jours martiens), lesquels sont 40 minutes plus longs que les jours terriens, mais les scientifiques espèrent pouvoir prolonger la durée de vie utile de la mission. Contrairement aux autres instruments qui finiront par épuiser leurs ressources essentielles, le lidar et les capteurs de température et de pression ne nécessitent aucune ressource non durable, ce qui fait que nous espérons pouvoir poursuivre l'expérience météorologique », de dire Taylor.

Toutefois, les jours de la mission Phoenix seront comptés en raison du changement des saisons. Contrairement à l'oiseau dont elle tire son nom et qui renaît de ses cendres, l'engin spatial Phoenix ne sera pas éternel. Misant uniquement sur le Soleil comme source d'énergie, on s'attend à ce que Phoenix ne survive pas longtemps aux longs et sombres hivers de la région polaire de Mars. « Il n'y aura pas d'énergie pour alimenter les batteries, ce qui occasionnera un refroidissement extrême des instruments », de mentionner Taylor. « Nous croyons que le système ne se remettra tout simplement pas en ligne au retour de l'été martien... Mais qui sait, peut-être aurons-nous droit à une agréable surprise? », conclut-il, avec espoir.

Des orages dans l'espace



Loin au-dessus de nos têtes, la partie supérieure de l'atmosphère interagit avec les salves de particules chargées émises par le Soleil, lesquelles sont à l'origine des aurores et de violents orages magnétiques. Deux nouveaux projets de recherche canadiens visent à étudier directement ce phénomène complexe : l'un depuis l'espace, et l'autre depuis le sol.

ePOP

La plupart d'entre nous n'associons pas nécessairement la météorologie à l'espace, bien que d'immenses tempêtes se produisent au-dessus de l'atmosphère terrestre. Ces tempêtes ne ressemblent toutefois en rien à celles qui se produisent sur la Terre. Elles sont causées par de violentes rafales de particules chargées émises par le Soleil. Même si ce phénomène se produit en très haute altitude, il peut néanmoins causer d'importants dégâts au sol.

Les particules chargées qui forment le plasma interagissent avec le champ magnétique terrestre et les minces couches supérieures de l'atmosphère au-dessus des régions polaires pour produire les aurores. Cela vient parfois même perturber les systèmes de communications, les systèmes de navigation, et les réseaux de distribution d'énergie.

En 1989, une tempête solaire a neutralisé le réseau de distribution d'électricité d'Hydro-Québec, causant une panne générale de neuf heures et des pertes évaluées à plusieurs millions de dollars. Plus récemment, des tempêtes solaires ont causé la défaillance de satellites, interrompu des services de média, et perturbé des systèmes de communications cellulaires et de navigation par GPS.

Jusqu'à tout récemment, les scientifiques croyaient que les particules chargées ne voyageaient que dans un sens, soit du Soleil vers la haute atmosphère terrestre. « Nous croyions que les particules ne pouvaient que s'écouler vers le bas, et non s'échapper vers le haut », de dire Andrew Yau, professeur et chercheur industriel principal à l'Institute for Space Research de l'University of Calgary. Toutefois, au cours des dernières décennies, les scientifiques en sont venus à croire que « très souvent, une quantité significative de particules va dans le sens inverse, et remonte de l'ionosphère jusque dans la magnétosphère. »

L'ionosphère est une couche de la haute atmosphère qui comprend plusieurs strates de particules ionisées ou chargées électriquement. Ces couches de plasma réfléchissent les ondes radio et, du coup, jouent un rôle de premier plan dans la transmission des signaux radio sur de longues distances sur la Terre. La magnétosphère, pour sa part, est une autre

région de la haute atmosphère où le champ magnétique de la Terre exerce une influence dominante sur le comportement de ces particules. C'est elle qui protège la surface terrestre et les organismes vivants contre les effets néfastes des particules chargées.

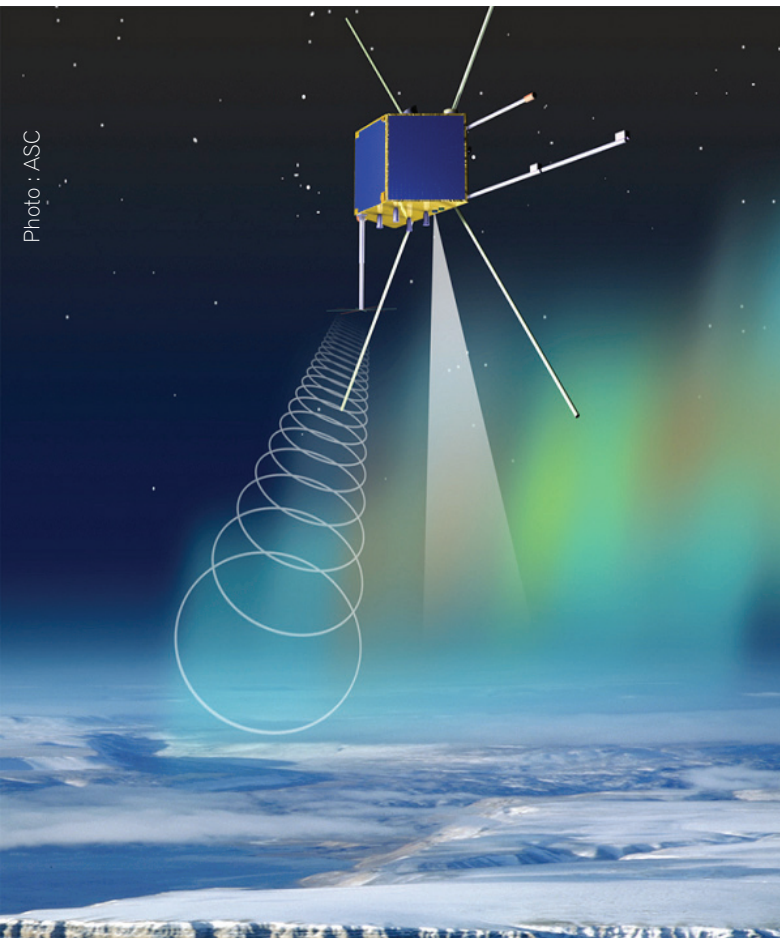


Photo : ASC

CASSIOPE et la suite d'instruments scientifiques ePOP.

Le « vent polaire », qui comprend à la fois des particules neutres et des particules chargées, n'a pas été étudié en profondeur jusqu'à maintenant. Tout cela va bientôt changer puisqu'il sera le principal sujet d'étude d'une sonde appelée ePOP (sonde de mesure de l'écoulement du plasma dans le vent polaire). Ce dernier se penchera sur les conditions qui règnent dans la zone de transition entre l'ionosphère et la magnétosphère, soit entre 300 et 3 000 kilomètres d'altitude. Yau, qui dirige la mission ePOP, souligne que la densité du plasma atteint généralement son maximum à une altitude d'environ 100 à 150 km pendant le jour et de 300 km pendant la nuit. « C'est dans cette zone que les orages magnétiques font le plus de dégâts », ajoute-t-il.

Financée par l'Agence spatiale canadienne et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, la mission ePOP comprendra huit instruments qui seront installés à bord de CASSIOPE, un petit satellite canadien polyvalent qui doit être lancé à la fin de 2007 et qui sera inséré sur une orbite polaire, ce qui lui permettra de faire des observations du haut de cet emplacement privilégié. L'équipe scientifique chargée de ce projet

comprend des chercheurs issus de 10 universités et instituts de recherche du Canada, ainsi que de deux organismes du Japon et des États-Unis.

En plus de prendre des mesures depuis l'espace, l'équipe scientifique chargée de la mission ePOP effectuera des mesures au moyen d'un réseau de stations radio, de radar et d'instruments magnétiques et optiques installés aux quatre coins du Canada et connu sous le nom de Programme canadien de surveillance géospatiale (PCSG). Le projet comporte un troisième volet : des études théoriques mettant à profit des modèles informatiques.

La mission ePOP a pour principal objectif d'étudier l'influence de l'écoulement plasmique sur les conditions météorologiques qui règnent dans la magnétosphère. À ce jour, les scientifiques ne peuvent pas affirmer avec certitude que « l'écoulement de plasma a une incidence directe sur la physique des conditions spatiales, mais il y a des indices fragmentaires qui nous laissent croire que cela pourrait être le cas », de souligner Yau.

Yau dit que le phénomène d'écoulement de plasma dans le vent polaire pourrait très bien être une « partie intégrante » des processus qui interviennent dans la magnétosphère. Les particules qui s'échappent de l'ionosphère sont beaucoup plus lourdes que celles qui proviennent du Soleil et qui retombent dans l'ionosphère. Selon Yau, cela a mené les scientifiques à croire que ces particules peuvent influencer les conditions qui règnent dans la magnétosphère, et peuvent peut-être même modifier les paramètres à l'origine des orages solaires.

La sonde ePOP est capable de mesurer les phénomènes localisés et à petite échelle liés à l'écoulement du plasma dans le vent polaire et ce, mieux que tout autre satellite. « La sonde ePOP est 100 fois plus rapide et 100 fois plus précise que tout autre système existant », de dire Yau. Elle nous permettra d'observer des phénomènes se produisant sur quelques dizaines de mètres ce qui, selon lui, équivaut à « disposer d'un microscope dans l'espace. » Il se peut que ces processus à petite échelle interviennent dans quelques-uns des problèmes associés à la météorologie spatiale, comme dans la perturbation des communications, par exemple.

Yau fait un parallèle entre notre compréhension actuelle de la météorologie spatiale et notre connaissance de l'atmosphère terrestre il y a 20 ou 30 ans de cela. « Nous en savons un peu sur la

météorologie spatiale, mais pas suffisamment. Nous devons réellement parfaire notre compréhension de ces processus et approfondir nos connaissances à cet égard. » Selon lui, nous disposons de certaines capacités de prévision de la météo spatiale, mais pour l'instant, il y a beaucoup trop de « faux positifs », c.-à-d. des prévisions qui ne se concrétisent pas. « Vous savez ce qui arrive lorsque l'on crie trop souvent au loup... », souligne-t-il.

L'amélioration des prévisions permettrait aux organismes de prendre des mesures préventives, comme de désactiver temporairement des satellites de télécommunications ou de réduire sous sa capacité limite un réseau de distribution d'électricité lorsqu'une tempête solaire est prévue. Yau souligne également que le secteur du transport aérien est de plus en plus dépendant des systèmes de navigation GPS par satellites et que les tempêtes solaires peuvent dérégler ces systèmes, voire les rendre totalement inopérants. « Ce qui nous préoccupe, c'est qu'à moins de disposer de prévisions suffisamment exactes pour atténuer ces risques, nous sommes toujours vulnérables, et nous pouvons être touchés par ces orages aux moments où nous nous y attendons le moins », ajoute-t-il.

Il est primordial, pour des raisons évidentes de sécurité, de pouvoir maintenir des communications radio claires avec les avions de passagers qui survolent les régions polaires.

Yau pousse sa réflexion encore plus loin et affirme que l'amélioration des prévisions en météorologie spatiale est également de première importance pour les vols spatiaux habités. Les tempêtes solaires peuvent produire des rayonnements très intenses susceptibles d'être nocifs, et même mortels, pour les astronautes. D'ailleurs, plus on s'éloigne du champ magnétique terrestre, plus le risque augmente. « Si l'on souhaite envoyer des astronautes sur Mars ou sur la Lune, la question de la protection contre les rayonnements en devient une de première importance », de dire Yau. « Mieux nous connaissons les processus liés à la météorologie

spatiale et à leurs effets, et plus nous aurons d'outils à notre disposition pour composer avec eux, mieux nous nous porterons », conclut-il.

THEMIS

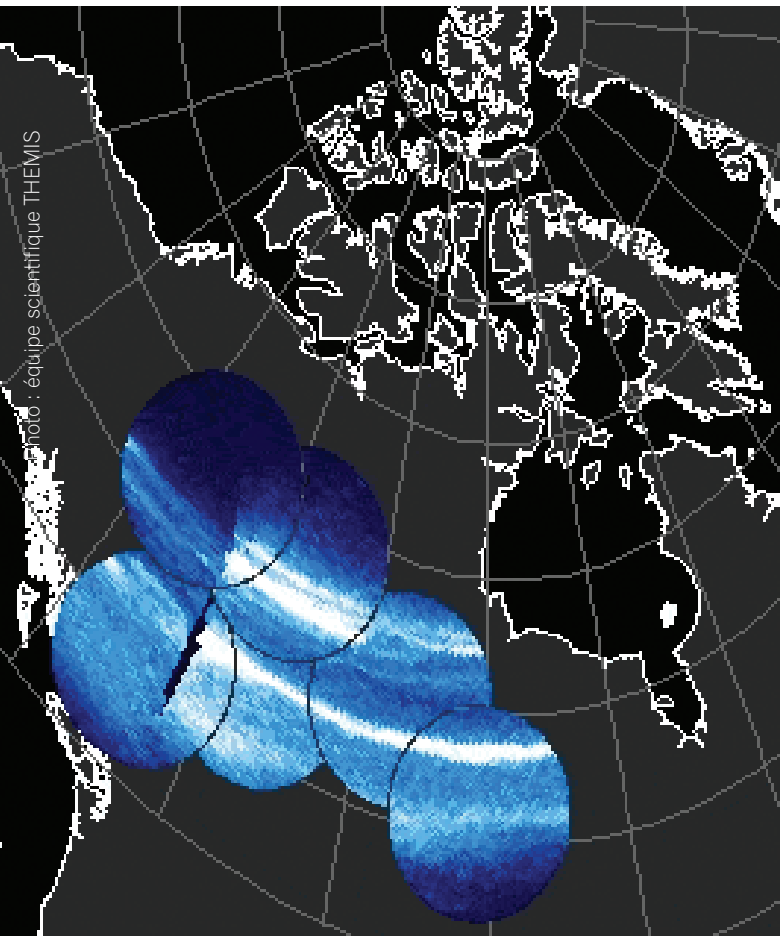
Les aurores boréales ont longtemps été un sujet de prédilection pour les photographes. Aujourd'hui, c'est au tour d'un tout nouveau projet de prendre la relève et d'étudier comme jamais auparavant ces voiles lumineuses qui animent le ciel du Nord.

Dans le cadre de la mission THEMIS, – une mission dirigée par la NASA et axée sur l'étude de la magnétosphère terrestre – des scientifiques canadiens utiliseront un réseau d'observatoires au sol pour capter toutes les trois secondes des images d'aurores et ce, pendant deux ans. Ces observations permettront de produire une quantité phénoménale de données, et c'est l'équipe scientifique canadienne qui a été chargée d'élaborer le logiciel qui permettra de les gérer.

Eric Donovan, professeur de physique et d'astronomie à l'University of Calgary, titulaire d'une chaire canadienne de recherche et chef de l'équipe scientifique canadienne, souligne que « le Canada possède la plus grande masse continentale du monde située sous les aurores, et compte 40 années d'expérience de niveau international en observation d'aurores depuis le sol. » C'est pourquoi la NASA souhaite établir la composante au sol de la mission THEMIS au Canada.

Les données recueillies par les observatoires seront mises en relation avec les mesures prises par cinq petits satellites que la NASA prévoit lancer en 2006. Les observations effectuées depuis le sol dans le cadre de la mission THEMIS viendront compléter celles qui sont réalisées dans le cadre du PCSG.

Donovan dit d'ailleurs que pour la première fois dans ce domaine de recherche, la NASA juge les observations depuis le sol « essentielles au succès de la mission et nécessaires pour trouver des réponses aux questions scientifiques qui nous occupent. »



THEMIS dans l'Ouest du Canada.

La mission THEMIS – pour Time History of Events and Macroscale Interactions during Substorms – a pour principal objectif l'étude de phénomènes appelés sous-orages magnétiques. Ces derniers sont le résultat d'une explosion d'énergie causée par le vent solaire (particules chargées émises par le Soleil) dans la magnétosphère terrestre, plus particulièrement dans la queue géomagnétique de la Terre, du côté où il fait nuit. La magnétosphère est une région située au-dessus de l'atmosphère et où le champ magnétique de la Terre exerce une influence dominante sur le comportement des particules chargées.

Au total, 20 stations d'observation au sol seront mobilisées pour la mission, soit 16 au Canada et quatre en Alaska. En tout, elles produiront environ 100 millions d'images par année, ce qui représente 10 téraoctets sur une base annuelle, de dire Donovan. « Il s'agit d'un gigantesque projet d'imagerie. L'un des grands enjeux de ce projet sera le traitement de cet immense jeu de données. Nous devons trouver une façon de mettre toutes ces informations en ligne, de les résumer, de les archiver aux fins de recherche, et de les transférer efficacement. »

Pour réaliser ce projet, les responsables de la mission ont mis au point le logiciel GAIA (Global Auroral Imaging Access) que Donovan décrit comme un « observatoire virtuel », et qui sera, selon lui, « une addition importante à notre capacité à surfer dans les données. Il s'agit d'un outil très puissant. »

Donovan poursuit en disant que la mission THEMIS « est principalement axée sur la physique fondamentale, et qu'elle permettra de repousser les limites du savoir humain. » THEMIS entraînera également son lot de retombées pratiques. En plus d'avoir mis au point le logiciel GAIA, l'équipe THEMIS a amélioré certaines technologies importantes sur le plan économique, comme les capteurs CCD utilisés par les caméras pour enregistrer des images numériques des aurores. « Notre groupe a déjà contribué à la naissance de deux entreprises de haute technologie », conclut-il.

Vivre dans l'espace – Un défi de taille

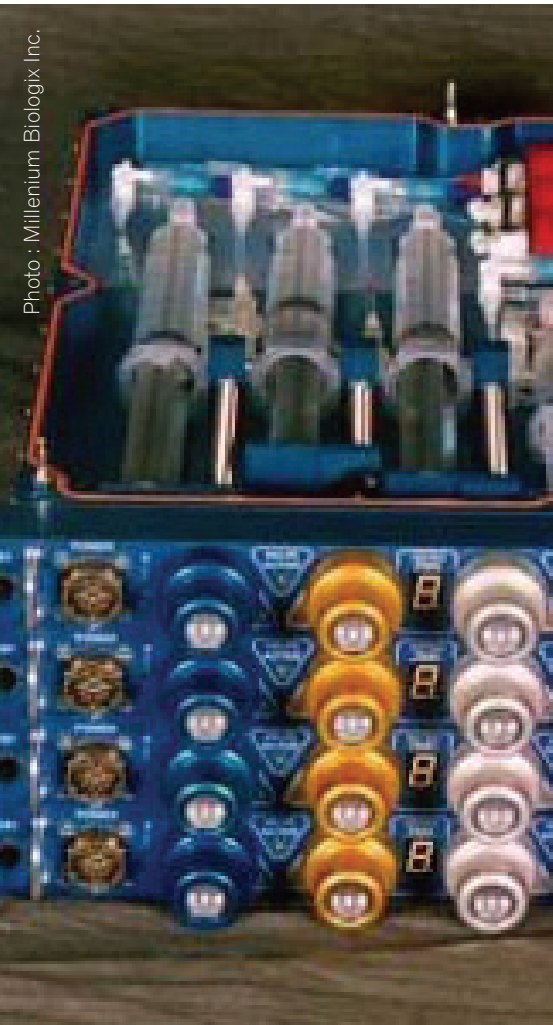


Photo : Millennium Biologix Inc.

La première expérience OSTEO a eu lieu en 1998 à bord de la navette spatiale.

Andrew Karaplis, chercheur à l'Hôpital général juif de Montréal, se concentrera sur les ostéoblastes. Il mettra à l'essai l'hypothèse voulant qu'une hormone prévenant normalement la mort des ostéoblastes soit inhibée en microgravité, effet qui contribuerait à l'accélération de la perte osseuse. René Harrison, professeur en sciences de la vie à l'University of Toronto au campus de Scarborough, aura recours à la microscopie par fluorescence de même qu'à d'autres méthodes pour examiner comment la microgravité influence certains aspects importants du développement et du fonctionnement des ostéoblastes et des ostéoclastes.

De toutes les difficultés liées à l'exploration de l'espace, les limites du corps humain sont l'une des plus importantes.

Les os, le sang, les muscles, le cœur— toutes ces parties de l'organisme sont influencées par la microgravité. Il est essentiel de comprendre ces changements et de trouver des manières de combattre leurs effets néfastes, tant dans l'espace que sur la Terre, pour assurer le succès des vols spatiaux dans l'avenir. Les recherches effectuées en microgravité peuvent également mener à de nouveaux traitements contre les maladies sur la Terre.

e-OSTEO : prévention de la perte osseuse dans l'espace et sur la Terre

Chez l'humain, les os subissent un cycle naturel continu de construction et de destruction. Des cellules appelées ostéoblastes construisent l'os, tandis que d'autres cellules, appelées ostéoclastes, le détruisent. L'ostéoporose survient lorsque la perte osseuse dépasse la formation osseuse.

Il est très important de comprendre le rôle de la microgravité dans ce processus, car dans l'espace, la masse osseuse de l'humain diminue cinq à 10 fois plus rapidement que sur la Terre. En gros, les os subissent une résorption accélérée similaire à l'ostéoporose observée chez les personnes âgées sur la Terre.

La perte osseuse pourrait représenter un obstacle important à l'exploration prolongée de la Lune et de Mars, au même titre que toute lacune technologique. « L'impossibilité de rester en microgravité pendant une longue période est un obstacle majeur », selon Reginard Gorczynski, chercheur au Réseau universitaire de santé de Toronto et chercheur principal du projet eOSTEO, qui participera à une expérience de 12 jours se déroulant dans un engin spatial russe non habité en 2007.

Financé par le Programme des sciences spatiales de l'Agence spatiale canadienne (ASC), e-OSTEO donnera à trois équipes scientifiques la chance d'explorer la perte osseuse dans l'espace. L'Institut de l'appareil locomoteur et de l'arthrite (IALA) des Instituts de recherche en santé du Canada et l'ASE ont collaboré à ce projet.

Le projet de Gorczynski est axé sur le rôle de certaines molécules biologiques dans la régulation de la formation et de la résorption osseuses en microgravité. Depuis de nombreuses années, il étudie la molécule CD200 et son récepteur, CD200R, qui jouent un rôle-clé dans la régulation du système immunitaire. Son laboratoire a démontré que l'interaction entre CD200 et CD200R est un facteur important dans l'augmentation et la diminution de l'ossification (formation des os).

L'expérience menée par Gorczynski dans le cadre du projet e-OSTEO vise à déterminer s'il est possible, par la régulation de l'interaction entre CD200 et



Photo : CNES

L'ASC a participé à l'étude WISE de concert avec l'ASE, la NASA et le CNES.

CD200R dans les cellules osseuses, de « contrôler la formation et la résorption osseuses. Une telle découverte serait très importante. Si l'on pouvait mettre au point un médicament qui, par une simple injection, rétablirait l'ossification chez les personnes ayant été dans l'espace, le problème de la perte osseuse serait éliminé. »

Des chercheurs effectueront une série de manipulations des cellules osseuses, et chaque manipulation faite dans l'espace sera répétée sur la Terre. Par exemple, les chercheurs ajouteront des molécules qui, sur la Terre, augmentent soit la croissance osseuse, soit la perte osseuse, afin de vérifier si elles produisent les mêmes effets dans l'espace.

Ils étudieront également des cellules de souris génétiquement modifiées de manière à présenter des taux de CD200 supérieurs à la normale ou à ne pas avoir de récepteur CD200R. Les études sur ces cellules visent à éclaircir davantage le rôle de la molécule CD200 et de ses interactions dans la perte osseuse en microgravité.

Des tests seront effectués sur des cellules osseuses dans un mini-laboratoire automatique mis au point par Millenium Biologix Inc. (MBI), de Kingston, en Ontario. MBI a déjà créé des mini-laboratoires

semblables pour deux autres expériences OSTEO à bord de navettes spatiales en 1998 et en 2003. (La deuxième expérience a été perdue lorsque la navette Columbia s'est désintégrée en rentrant dans l'atmosphère terrestre.)

Gorczyński souhaite que ces travaux permettent de mieux comprendre la perte osseuse sur la Terre causée par le vieillissement et les maladies inflammatoires comme l'arthrite, et qu'ils contribuent à la mise au point de nouveaux médicaments contre la perte osseuse tant dans l'espace que sur la Terre. Il a précisé que la recherche d'un traitement contre la perte osseuse en microgravité n'est pas le seul motif de ces expériences : comme la perte osseuse s'accélère dans l'espace, il est possible d'obtenir en 12 à 14 jours des résultats pour lesquels il faudrait attendre deux ans sur la Terre.

WISE (Women International Space Simulation for Exploration)

S'il est impossible d'envoyer des personnes dans l'espace, on peut toujours les envoyer au lit. En effet, l'alitement prolongé avec la tête légèrement plus basse que les pieds cause des changements au niveau des muscles, des os et de l'appareil cardiovasculaire qui sont remarquablement semblables à ceux qui surviennent chez les astronautes durant les vols spatiaux.

Deux équipes de chercheurs canadiens ayant participé à une étude internationale sur des sujets alités ont observé des changements importants au niveau de l'appareil cardiovasculaire et des muscles. Ces changements ont des répercussions sur la santé et la réadaptation, tant chez les astronautes qui prennent part à des missions exploratoires de longue durée que chez les patients forcés de rester au lit sur la Terre.

Une équipe de recherche, dirigée par Guy Trudel de l'Université d'Ottawa, a observé un mécanisme qui pourrait expliquer pourquoi les astronautes en microgravité souffrent d'anémie – la diminution de la production de globules rouges – qui causerait non seulement la fatigue, mais qui pourrait aussi avoir de graves conséquences sur les vols spatiaux de longue durée.

Le second groupe de chercheurs, dirigé par Richard Hughson de l'University of Waterloo, a découvert que les sujets qui font des exercices au lit regagnent plus rapidement leur capacité de maintenir leur tension artérielle une fois en position debout et suite

à une période d'alitement. L'activité physique protège aussi contre d'autres changements physiologiques pouvant entraîner des maladies cardiaques.

L'ASC a appuyé cette étude, appelée WISE (Women International Space Simulation for Exploration), en collaboration avec l'Agence spatiale européenne, la NASA et le Centre national d'études spatiales (CNES) de la France. L'IALA a fourni du financement supplémentaire pour la réalisation de ce projet.

Menée en France en 2005, WISE est la première étude à avoir porté sur l'alitement prolongé chez les femmes. Elle vise à éclaircir les différences entre les sexes au chapitre de la réponse à la microgravité. Pour réaliser ce projet, les résultats de WISE sont comparés avec ceux d'études d'alitement semblables chez les hommes. Des scientifiques explorent actuellement des mesures préventives (soit l'alimentation et l'activité physique) pour réduire les effets néfastes de la microgravité sur l'organisme humain.

L'échantillon de WISE était constitué de 24 volontaires en bonne santé, qui ont dû rester au lit pendant 60 jours, la tête légèrement plus basse que les pieds. Les sujets ont été répartis entre trois groupes – un groupe témoin, un groupe recevant une alimentation riche en protéines, et un groupe faisant des exercices au lit. La réponse au traitement a été étudiée par plusieurs équipes de scientifiques, aussi bien avant et durant l'alitement que durant la réadaptation.

La cause de l'anémie

L'équipe de Trudel a vérifié l'hypothèse voulant que l'inactivité associée à l'alitement entraîne l'accumulation de graisses dans la moelle osseuse – principale source des globules rouges – et puisse causer l'anémie. Comme l'alitement reproduit les conditions de la microgravité, la formation de graisses serait un facteur critique durant les missions spatiales de longue durée.

Selon les résultats préliminaires de 12 sujets, les trois groupes affichent une hausse du taux de graisses dans la moelle osseuse. Les chercheurs ont été surpris de constater que l'activité physique

n'avait pas empêché la formation de graisses. Ils ont évoqué la possibilité que les types d'exercices faits par les sujets alités n'aient peut-être pas suffisamment stimulé la colonne vertébrale; autrement, l'accumulation de graisses dans la moelle osseuse aurait pu être prévenue.

Les chercheurs ont avancé que l'immobilité pourrait affecter les cellules souches, qui ont la capacité de se transformer en d'autres types de cellules, et faire en sorte qu'elles deviennent des cellules adipeuses (c.-à-d. réserves de graisses) au lieu de cellules hématopoïétiques (c.-à-d. cellules produisant le sang).

Trudel, dont les travaux portent sur le rétablissement des personnes immobilisées en raison d'une maladie ou d'une blessure, a noté que chez un grand nombre de cas sur la Terre, la cause de la forme la plus courante d'anémie est inconnue. Selon lui, de nombreux patients en réadaptation présentent « une anémie cliniquement significative qui reste inexplicite. » Si l'immobilité – ou, dans l'espace, les effets physiologiques de la microgravité – déclenchait bel et bien l'accumulation de graisses nuisant à la formation des globules rouges, « cela expliquerait certains problèmes de santé très courants sur la Terre. »

Les répercussions pour les astronautes participant à des missions de longue durée, comme un voyage vers Mars, pourraient être importantes. Par exemple, l'accumulation de graisses dans la moelle osseuse nuirait à la capacité de l'organisme de remplacer le sang à la suite d'une blessure avec perte de sang.

On ne sait pas encore si ce processus se maintient tout au long de la période de microgravité; selon Trudel, si c'est le cas, un tel processus pourrait entraîner l'insuffisance du système hématopoïétique, et même la mort s'il devenait irréversible. L'équipe de Trudel souhaite recueillir les données concernant les autres sujets de l'étude afin de vérifier si la formation de graisses se poursuit et pendant combien de temps (le cas échéant), et si – et quand – les choses reviennent à la normale.



Effets cardiovasculaires

L'étude de Hughson se concentrait sur les effets cardiovasculaires de l'alitement – plus précisément, le rôle de l'immobilité dans un état appelé hypotension orthostatique. Cet état survient le plus souvent lorsqu'une personne se lève après une longue période d'inactivité ou après avoir été en microgravité; le cœur ne pompe pas suffisamment de sang à la tête, causant un étourdissement ou un évanouissement.

On s'inquiète de la possibilité que l'hypotension orthostatique affecte le rendement et la sécurité des astronautes qui rentrent de l'espace, particulièrement ceux qui sont responsables du fonctionnement de l'équipement (soit piloter la navette spatiale). Elle pourrait également nuire à leur capacité de réagir à une urgence.

Hughson a noté que les femmes constituent maintenant 20 à 25 % du corps d'astronautes, mais que leur capacité de se maintenir debout après un voyage dans l'espace est considérablement inférieure à celle des hommes. Après un vol spatial, environ 80 % des femmes font part d'une capacité réduite de se maintenir debout par rapport à avant le vol, comparativement à seulement 25 % des hommes.

De même, Hughson a observé que les femmes présentent des difficultés semblables après une période d'alitement prolongé. Il a constaté que les bienfaits de l'activité physique au lit ne durent pas longtemps; les sujets ayant effectué un test de maintien en position debout immédiatement après l'alitement n'ont montré aucune amélioration de la fréquence cardiaque, semblable à s'ils n'avaient pas fait d'exercices au cours des deux jours précédents. Cependant, l'activité physique a aidé les sujets à se rétablir plus rapidement; les sujets actifs étaient revenus à la normale huit jours après la fin de l'alitement, tandis que les sujets inactifs éprouvaient encore des chutes de tension artérielle en position debout.

Hughson a également trouvé que les sujets inactifs présentaient « une réduction plutôt marquée de la masse cardiaque, tandis que les sujets actifs ne manifestaient aucun changement sur ce plan. »

« Cela démontre clairement que l'appareil cardiovasculaire des femmes qui n'ont pas fait d'exercices a subi des effets néfastes », a indiqué Hughson. « Elles auraient probablement davantage de difficulté à faire des tâches dans l'espace, et leur réadaptation sur la Terre serait assurément plus compliquée. Le programme d'exercices a eu plusieurs bienfaits. »

L'équipe de Hughson a aussi vérifié si l'alitement entraînait des changements physiologiques pouvant accélérer l'apparition de maladies cardiaques. Dans le groupe des sujets inactifs, on a observé des changements correspondant au développement de l'athérosclérose (cholestérol dans les artères). Les changements n'étaient pas importants sur 60 jours, mais il pourrait en être autrement dans le cadre d'une mission de trois ans vers Mars. « Dans une telle situation, le risque de contracter une maladie cardiaque pourrait être accru », a déclaré Hughson.

Ces observations soulignent l'importance de l'activité physique dans l'espace. Il a été établi depuis longtemps que les astronautes doivent faire des exercices pour se tenir en santé, mais on ne sait pas quel niveau d'activité physique sera nécessaire dans le cadre de longues missions comme un voyage vers Mars. À la Station spatiale internationale, on prévoit habituellement deux heures d'exercices par jour. Si les astronautes devaient s'entraîner beaucoup plus longtemps dans le cadre d'un voyage vers Mars, les activités de la mission en seraient considérablement perturbées.

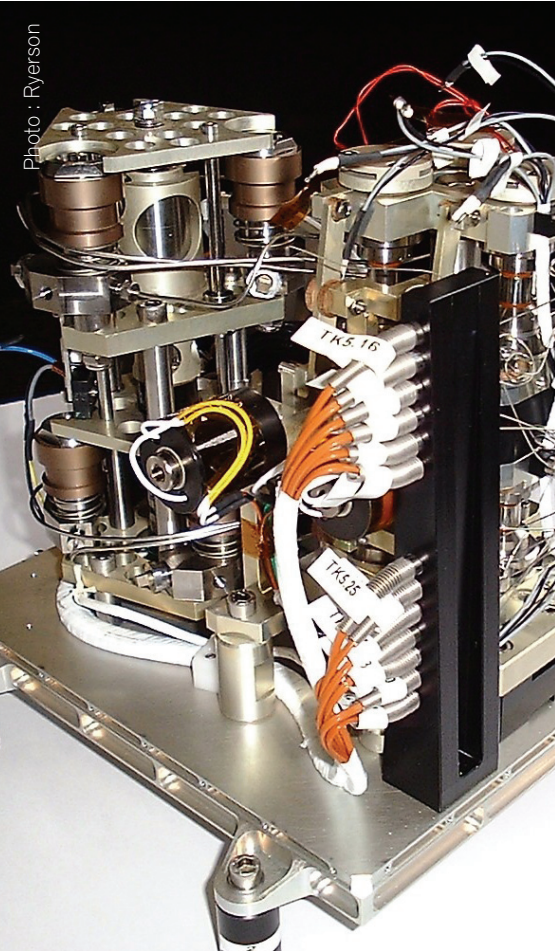
Bien que d'autres études soient nécessaires, Hughson souligne que les sujets alités ayant été actifs avaient fait moins d'une heure d'exercices par jour mais que leurs résultats « démontrent clairement qu'ils ont maintenu leur condition physique. »

Hughson compte concentrer ses prochaines études sur les principaux « marqueurs » du sang qui indiquent si l'organisme des astronautes subit des changements cardiovasculaires inquiétants. Il est possible qu'un test soit mis au point pour examiner ces changements en vol.

En 2007, Hughson compte aussi surveiller la fréquence cardiaque, la tension artérielle et l'activité physique des astronautes à bord de la Station spatiale internationale. Il vise à explorer la relation entre la fréquence cardiaque et l'activité physique en microgravité, et connaître par quel mécanisme la régulation de la fréquence cardiaque varie.

Les études comme celles qui sont décrites ci-dessus visent à trouver des moyens de permettre à l'organisme humain de fonctionner en toute sécurité dans deux milieux totalement différents – en gravité et en microgravité. Il s'agit d'une question fondamentale pour l'avenir de l'exploration humaine du système solaire.

Du pétrole dans l'espace – Une expérience en microgravité



L'instrument d'analyse du pétrole SCCO.

Sur la Terre, rien ni personne n'échappe à la force de gravité. C'est la raison pour laquelle l'espace est devenu un laboratoire de choix dans le cadre de certains types de recherches en sciences physiques. La microgravité est particulièrement utile pour l'étude des aspects fondamentaux du comportement des liquides et des gaz qui sont autrement masqués par la pesanteur. Les découvertes faites jusqu'à maintenant en microgravité ont notamment permis d'améliorer les processus industriels sur la Terre.

C'est ainsi que l'Agence spatiale canadienne (ASC) a décidé de parrainer un certain nombre de projets de recherche nécessitant un environnement de microgravité. Leurs buts visent à mieux comprendre les processus liés à la combustion, à la formation des matériaux, ainsi qu'à l'évaporation des fluides et à leur interaction entre eux et avec leur milieu. En outre, l'ASC finance des études au préalable et essentielles à la préparation d'expériences spatiales.

Deux de ces projets misent sur la microgravité pour améliorer les techniques d'exploration pétrolière sur la Terre et mettre au point un nouvel évaporateur qui pourrait être utilisé pour une multitude d'applications industrielles.

Du pétrole dans l'espace

Il y a deux sortes de pétroles : celui qui est facile à trouver et celui qui ne l'est pas.

La majeure partie du pétrole facile à extraire se trouve dans des gisements proches de la surface, dans des régions accessibles. Aujourd'hui, la plupart de ces gisements ont été découverts. Il en existe toutefois d'autres qui, eux, sont plus difficiles à détecter et à atteindre parce qu'ils sont enfouis profondément dans le sous-sol, le fond marin ou qu'ils se trouvent dans des régions éloignées, comme en Arctique. Par exemple, certains des gisements répertoriés au large de Terre-Neuve se trouvent à plus de 10 km de profondeur dans le sous-sol marin.

Avec l'accroissement de la demande mondiale pour les produits du pétrole et la hausse du prix du baril, on envisage de plus en plus d'exploiter ces gisements difficiles d'accès. En raison des énormes coûts d'exploration et de développement en cause, les entreprises pétrolières tentent d'évaluer leurs chances de succès avant même d'entreprendre les opérations de forage. Pour réaliser ce projet, elles procèdent au prélèvement et à l'analyse de petits échantillons d'hydrocarbures. Les données ainsi

obtenues sont ensuite intégrées à des modèles informatiques qui permettent de déterminer la capacité du gisement de pétrole ainsi que sa durée de vie.

Mais la fiabilité de ces modèles dépend de la précision des données dont on dispose sur le comportement des hydrocarbures dans le sous-sol. Or, une des grandes difficultés à obtenir des données précises à ce sujet s'explique par le



processus connu sous le nom de diffusion thermique. En effet, les divers éléments des hydrocarbures se déplacent différemment dans leur milieu en fonction des gradients de température (écarts de température entre deux points) dans le sous-sol rocheux.

« Ce processus de diffusion thermique est impossible à mesurer sur la Terre parce qu'il est perturbé par le phénomène de la convection, c.-à-d. un mouvement des fluides causé à la fois par la température et la pesanteur », d'affirmer Ziad Saghir, professeur en génie à Ryerson University, à Toronto.

C'est pourquoi il s'est tourné vers l'espace. Il croit qu'en microgravité – où la convection est quasi inexistante – il sera possible de mesurer la diffusion thermique. Il pourra ainsi vérifier une formule mathématique complexe de son cru qui permet de prédire la diffusion thermique et qui peut grandement contribuer à améliorer la modélisation informatique des gisements de pétrole.

En mai 2005, des échantillons d'hydrocarbures liquides, de composition semblable à celle du pétrole trouvé dans les gisements, ont été lancés à bord d'un satellite russe Foton récupérable. Ce projet, qui est financé conjointement par l'Agence spatiale européenne (ESA), l'ASC et l'industrie pétrolière, comprenait aussi des échantillons appartenant à plusieurs autres chercheurs. Saghir a aussi reçu des fonds de CRESTech, un organisme d'Ontario Centres of Excellence Inc.

Les échantillons de pétrole ont été stockés dans des tubes dont les deux extrémités ont été soumises à des températures différentes. Pendant deux semaines, les composantes de chaque échantillon se sont déplacées et séparées en réaction aux gradients de température. Les échantillons ont ensuite été « préservés » puis ramenés sur la Terre à des fins d'analyse par Total, une société pétrolière française qui appuie la commercialisation des résultats de ces recherches.

Saghir s'est servi de sa formule mathématique pour prédire les résultats de l'expérience spatiale. Ces résultats anticipés ont ensuite été comparés aux résultats dérivés des échantillons ramenés sur la Terre. Bien que certains échantillons aient failli, d'autres ont produit des résultats, et les conclusions de leur analyse seront connues en juin 2006.

En attendant les résultats de l'analyse des échantillons spatiaux, Saghir a mené des études sur ordinateur afin de prédire les effets sur les échantillons des vibrations potentielles de

l'équipement installé dans la fusée Foton. Cela l'a aidé à déterminer si de telles vibrations pouvaient expliquer les différences éventuelles entre les prévisions et les résultats officiels de l'expérience spatiale. « Nous tentons toujours de déterminer pourquoi les résultats ne concordent pas avec les prévisions, le cas échéant », de mentionner Saghir.

Des vibrations ont été détectées à bord du satellite Foton et l'on s'attend à ce que les résultats des mesures connexes soient mis à la disposition des scientifiques en mai 2006.

Au printemps 2006, Saghir a organisé une conférence pour les représentants des sociétés pétrolières internationales à Abu Dhabi, aux Émirats arabes unis, afin de discuter de ces travaux de recherche. « Il s'agit d'une expérience qui peut trouver immédiatement application sur la Terre, et les partenaires industriels étaient impatientés d'en obtenir les résultats », de dire Saghir.

Il tente également de trouver des façons de mettre à profit ses travaux de recherche pour résoudre d'autres problèmes auxquels est confrontée l'industrie de l'exploration pétrolière. L'un des grands objectifs de la conférence d'Abu Dhabi était de permettre aux compagnies pétrolières de présenter ces problèmes de façon à ce que les scientifiques puissent mettre au point des expériences en vue de les régler. « L'une des questions que nous devons nous poser, a déclaré Saghir, c'est de savoir si l'environnement spatial est indispensable pour la réalisation d'expériences de ce type. »

Saghir, ainsi que d'autres scientifiques, aura l'occasion de réaliser d'autres expériences à bord d'un engin spatial Foton parrainé par l'ESA, en octobre 2007. Il a également reçu un financement de la part de l'ESA et de l'ASC pour mettre à l'essai du matériel destiné à être exploité à bord du module Columbus de l'ESA, un laboratoire scientifique qui doit être ajouté à la Station spatiale internationale après 2007. Ce laboratoire lui permettra d'effectuer ses expériences sur une plus longue période que ne l'auraient permis des satellites à courte durée de vie.

Les expériences qui seront menées à bord de la Station spatiale internationale viseront l'étude du phénomène de diffusion thermique dans des échantillons contenant de l'eau et de l'alcool, plutôt que des hydrocarbures. Saghir a expliqué que tous les gisements d'hydrocarbures contiennent aussi de l'eau et des gaz, mais que l'étude du phénomène de

diffusion thermique dans ces trois milieux en simultané est une tâche beaucoup trop complexe. Il a donc arrêté son choix sur le mélange eau-alcool puisque des études au sol seront réalisées en parallèle avec les expériences spatiales et que le mélange eau-alcool est plus facile à étudier au sol qu'un mélange eau-hydrocarbures.

Saghir s'intéresse particulièrement à mettre ses travaux de recherche à profit à deux endroits au Canada : le gisement d'hydrocarbures situé au large de Terre-Neuve et les sables bitumineux de l'Alberta, lesquels constituent le plus important gisement pétrolifère du monde. Puisque les entreprises qui exploitent les sables bitumineux y injectent de la vapeur pour extraire les hydrocarbures, « nous croyons fermement que la diffusion thermique joue un rôle de premier plan dans ce type de gisement », souligne-t-il.

L'évaporation

L'évaporation – le passage de l'état liquide à l'état gazeux d'une substance – est un élément-clé de nombreux procédés industriels comme le dessalement de l'eau et la mise au point de médicaments, de lait en poudre, de liqueurs et d'éthanol.

Le phénomène d'évaporation de l'eau est à la base de bon nombre de processus », de dire Charles Ward, professeur d'ingénierie et directeur du Laboratoire de cinétique et de thermodynamique à l'University of Toronto. Ward a inventé un nouveau type d'évaporateur mettant à profit sa découverte d'une propriété jusqu'alors inconnue de l'eau, ayant une grande incidence sur le transport de l'énergie lors de l'évaporation.

Il a fait cette découverte dans le cadre de recherches réalisées à bord de la navette spatiale qu'il espère pouvoir poursuivre à bord de la Station spatiale internationale.

Puisque l'évaporation nécessite de la chaleur, il s'agit d'un processus énergivore. « Dans l'industrie, tous tentent d'optimiser l'évaporation de l'eau en consommant le moins d'énergie possible. Et cela est d'autant plus vrai lorsque le prix de l'énergie est à la

hausse », de dire Ward. Il ajoute que son nouvel évaporateur est beaucoup plus efficace que les évaporateurs classiques, et c'est la raison pour laquelle un certain nombre d'entreprises ont décidé de le mettre à l'essai.

Ward a découvert une nouvelle propriété de l'eau alors qu'il se penchait sur un phénomène appelé la convection de Marangoni. La convection, c'est le transfert de chaleur dans un fluide ou un gaz causé par le déplacement de molécules d'un point du milieu vers un autre. Il existe plusieurs types de convection, comme la convection induite par la poussée hydrostatique qui découle de différences de masse volumique en divers points dans les liquides et qui est influencée par la pesanteur. La convection de Marangoni en est une autre forme causée, elle, par des différences de tension superficielle (voir l'encadré).

Convection de Marangoni

On entend par la convection de Marangoni un déplacement de molécules dans un liquide causé par des différences de tension superficielle. La tension superficielle, qui donne aux bulles liquides leur aspect arrondi, est causée par l'attraction entre les molécules en surface et celles qui sont à l'intérieur du liquide, ce qui produit une couche en surface semblable à une membrane élastique. Les molécules en surface transitent des zones à faible tension superficielle vers les zones à forte tension superficielle, entraînant avec elles d'autres molécules du liquide.

La force de la tension superficielle dépend de la température. La convection de Marangoni est le fruit de différences de températures (c.-à-d. un gradient de température) le long de la surface, laquelle constitue l'interface entre le liquide et la vapeur environnante. La partie de l'interface ayant la température la plus basse a une tension superficielle plus élevée, et c'est cette tension qui est à l'origine du déplacement de liquide le long de l'interface.



Pour qu'il y ait évaporation, – pour qu'un liquide se transforme en vapeur – il faut un transport d'énergie jusqu'à la surface du liquide. Cette énergie peut être transportée par convection induite par poussée hydrostatique et par convection de Marangoni. Ward s'est fixé comme objectif de mesurer la quantité d'énergie transportée par convection de Marangoni.

Sur la Terre, cet objectif est ambitieux puisque la convection induite par poussée hydrostatique exerce la plus grande influence des deux. Il est, par conséquent, plus facile de mesurer la convection de Marangoni dans l'espace, là où les conditions de microgravité neutralisent presque totalement la convection induite par poussée hydrostatique. Toutefois, Ward a mis au point une méthode astucieuse pour mesurer la convection de Marangoni dans l'eau, sur la Terre, en exploitant la propriété unique de l'accroissement de la masse volumique de l'eau lorsqu'elle gèle. (L'eau atteint sa masse volumique maximale à 4 °C, à peine au-dessus de son point de congélation.)

En s'appuyant sur cette propriété, il a mis au point un dispositif de laboratoire capable d'éliminer le phénomène de convection induite par poussée hydrostatique. Il a ainsi prouvé que la convection de Marangoni se produisait bel et bien dans l'eau – une découverte qui venait contredire les connaissances scientifiques classiques. Après avoir fait réaliser des expériences préliminaires à bord de la navette spatiale en 1997, lesquelles visaient à étudier le rôle de la tension superficielle dans le déplacement des liquides en l'absence de pesanteur, Ward était convaincu que le phénomène de convection de Marangoni devait se produire dans l'eau.

Dans le cadre de ses expériences, il a également constaté que la convection de Marangoni permettait de transporter jusqu'à 50 % de l'énergie nécessaire à l'évaporation. En concevant son évaporateur pour tirer pleinement profit de cette propriété, il a amélioré de façon significative le rendement du processus d'évaporation.

L'University of Toronto a fait une demande de brevet pour cette technologie, et travaille présentement à sa commercialisation. Ward mène actuellement une étude en collaboration avec Hiram Walker & Sons, une distillerie de whisky. Après avoir fait fermenter le maïs et extrait l'éthanol, le matériau restant est séché puis vendu à des fermiers comme aliment pour

animaux. Testée en laboratoire, la technique de Ward a permis d'extraire avec une plus grande efficacité l'eau du maïs.

D'autres essais effectués pour le compte d'une société produisant des unités de dessalement ont donné des résultats similaires. « D'ici cinquante ans, le dessalement de l'eau sera l'un des grands enjeux du monde », de dire Ward. C'est déjà un enjeu des plus importants dans certaines régions comme le Moyen-Orient et quelques parties de l'Ouest des États-Unis.

Selon Ward, sa technique pourrait aussi servir à la production de médicaments puisqu'elle permet l'évaporation à basse température. Certains médicaments se dégradent s'ils sont chauffés à une température de 100 °C.

Il prévoit aussi étudier le phénomène de convection de Marangoni dans la production d'éthanol. L'éthanol, produit à partir de végétaux au moyen d'un processus de distillation reposant sur l'évaporation, est considéré comme une importante source d'énergie renouvelable. La molécule d'éthanol est différente de celle de l'eau, mais il pourrait quand même être possible de recourir à la convection de Marangoni pour améliorer le transport d'énergie pendant l'évaporation de l'éthanol sur la Terre.

Toutefois, il est impossible pour Ward de neutraliser la convection induite par pression hydrostatique dans ces conditions, ce qui fait qu'il aimerait étudier l'éthanol dans l'espace. Il a donc fait une demande auprès de l'ASC en vue d'obtenir des fonds pour préparer une expérience qui serait envoyée à bord de la Station spatiale internationale.

Liste des universités

University of Alberta

Chemical and Materials Engineering

Janet Elliot

(780) 492-7963

Robert Smith

(780) 492-3918

Department of Earth and Atmospheric Science

Chris Herd

(780) 492-5798

Electrical and Computer Engineering

Robert Fedojesevs

(780) 492-5330

Department of Laboratory Medicine and Pathology

Brian Chiu

(780) 407-6959

Mechanical Engineering

Alidad Amirfazli

(780) 492-6711

Department of Physics

Frances Fenrich

(780) 492-2149

Ian Mann

(780) 492-6882

Robert Rankin

(780) 492-5082

Gordon Rostoker

(780) 492-0721

John Samson

(780) 492-3616

Jacek Adam Tuszynski

(780) 492-3579

Department of Physiology

Susan E. Jacobs-Kaufman

(780) 492-6612

Chemical and Materials Engineering Building

Room 536

Edmonton, Alberta

T6G 2G6

Earth Sciences Building

Room 1-26

Edmonton, Alberta

T6G 2E3

Electrical and Computer Engineering Research Facility

9107 116th Street, 2nd Floor

Edmonton, Alberta

T6G 2V4

8440 112th Street

Edmonton, Alberta

T6G 2B7

Mechanical Engineering Building

Room 4-9

Edmonton, Alberta

T6G 2G8

Avadh Bhatia Physics Laboratory

Room P-412

Edmonton, Alberta

T6G 2J1

Medical Science Building

Room 7-55

Edmonton, Alberta

T6G 2H7



Athabaska University

Centre for Natural and Human Science
Martin Connors
(780) 434-1786

Centre for Science
1 University Drive
Athabasca, Alberta
T9S 3A3

University of British Columbia

Department of Civil Engineering
Bernard Laval
(604) 822-2204

2329 West Mall
Vancouver, British Columbia
V6T 1Z4

Department of Chemistry
Mark MacLachlan
(604) 822-3070

2336 Main Mall
Vancouver, British Columbia
V6T 1Z1

Michael Wolf
(604) 822-1702

Various Departments
Donna MacIntyre
(604) 822-0799

School of Rehabilitation Sciences
211 Westbrook Mall
Room T325
Vancouver, British Columbia
V6T 2B5

Jaymie Matthews
(604) 822-2696

2136 West Mall
Vancouver, British Columbia
V6T 1Z4

Ann M. Rose
(604) 822-5467

6174 University Boulevard
Room 300H
Vancouver, British Columbia
V6T 1Z3

Douglas Scott
(604) 822-2802

Hennings Building
6224 Agricultural Road
Room 300A
Vancouver, British Columbia
V6T 1Z1

Department of Psychology
Peter Suedfeld
(604) 822-5713

2329 West Hall
Vancouver, British Columbia
V6T 1Z1

University of Calgary

Department of Geology and Geophysics
Alan Hildebrand
(403) 220-2291

2500 University Drive, N.W.
Calgary, Alberta
T2N 1N4

Department of Microbiology and
Infectious Diseases and Medicine
David A. Hart
(403) 220-6885

Department of Physics and Astronomy
Eric Donovan
(403) 220-6337

David Knudsen
(403) 220-8651

Andrew Yau
(403) 220-8825

Dalhousie University

Department of Anatomy and
Neurobiology Research Services
Richard J. Wassersug
(902) 494-2244

Faculty of Medicine
Sir Charles Tupper Medical Building
5850 College Street
Halifax, Nova Scotia
B3H 4H7

Department of Physiology and Biophysics
Roger Croll
(902) 494-6513

Office of Research Services
Henry Hicks Academic and Administration Building
5859 University Avenue
Room 321
Halifax, Nova Scotia
B3H 4H6

University of Guelph

Department of Physics
Ralf Gellert
(519) 824-4120 ext. 53992

50 Stone Road East
Guelph, Ontario
N1G 2W1

Department of Plant Agriculture Department
of Environmental Biology
Mike Dixon
(519) 824-4120



Université Laval

Département de réadaptation
Jérôme Frenette
(418) 656-4141

Centre de recherche CHUL
2705, boulevard Laurier
Ste-Foy (Québec)
G1V 4G2

University of Lethbridge

Department of Physics
David Naylor
(403) 329-2426

4401 University Drive
Lethbridge, Alberta
T1K 3M4

University of Manitoba

Department of Human Anatomy and Cell Science
Judy Anderson
(204) 789-3716

Basic Medical Sciences Building
730 William Avenue
Room 101
Winnipeg, Manitoba
R3E 0W3

Department of Physics
John H. Page
(204) 474-8880

Administration Building
Room 311
Winnipeg, Manitoba
R3T 2N2

Department of Physiology
Tooru Mizuno
(204) 789-3765

Faculty of Medicine
730 William Avenue
Winnipeg, Manitoba
R3E 3J7

Faculty of Physical Education
Philip Gardiner
(204) 474-8770

3007 Max Bell Centre
Winnipeg, Manitoba
R3T 2N2

Various Departments
Richard Gordon
(204) 789-3828

820 Sherbrook Street
HSC Room GA216
Winnipeg, Manitoba
R3A 1R9

McGill University

Department of Geography

Wayne Pollard
(514) 398-4454

Burnside Hall
805 Sherbrooke Street West
Room 705
Montreal, Quebec
H3A 2K6

Department of Mechanical Engineering

Andrew Higgins
(514) 398-6297

MacDonald Engineering Building
817 Sherbrooke Street West
Montreal, Quebec
H3A 2K6

John H.S. Lee
(514) 398-6301

Faculty of Medicine

Andrew C. Karaplis
(514) 340-8260

Sir Mortimer B. Davis – Jewish General Hospital
3755 Côte-Ste-Catherine Road
Montreal, Quebec
H3T 1E2

Department of Physiology

Douglas G.D. Watt
(514) 398-6025

McIntyre Medical Building
3655 Sir William Osler Drive
Montreal, Quebec
H3G 1Y6

Department of Physiology and
Aerospace Medical Research Unit

Kathleen E. Cullen
(514) 398-5709

3655 Sir William Osler Drive
Montreal, Quebec
H3G 1Y4

McMaster University

Department of Materials Science and Engineering

Nikolas Provas
(905) 525-9140

1280 Main Street West
Hamilton, Ontario
L8S 4L7

Department of Mechanical Engineering

Chan Ching
(905) 525-9140

Memorial University of Newfoundland

Department of Mathematics and Statistics

Danny Summers
(709) 737-8087

St. John's, Newfoundland
A1C 5S7



Université de Moncton

Département de physique et d'astronomie
Pandurang V. Asbrit
(506) 858-4511

Moncton (Nouveau-Brunswick)
E1A 3E9

Université de Montréal

Département de biochimie
Jurgen Sygusch
(514) 343-2389

Faculté de médecine
Laboratoire René-J.-A.-Lévesque
C.P. 6128, Succursale Centre-ville
Montréal (Québec)
H3C 1J4

Département de physique
Paul Charbonneau
(514) 343-2300

2900, boulevard Édouard-Montpetit
Montréal (Québec)
H3T 1J4

René Doyon
(514) 343-6111

Pavillon Roger-Gaudry
Bureau D-436
C.P. 6128, Succursale Centre-ville
Montréal (Québec)
H3C 3J7

Département de physiologie
Allen M. Smith
(514) 343-6353

Centre de recherche en sciences neurologiques
Pavillon Paul-G.-Desmarais
2960, chemin de la Tour
Bureau 4131
Montréal (Québec)
H3T 1J4

University of New Brunswick

Department of Chemical Engineering

Brian J. Lowry
(506) 453-4691

15 Dineen Drive
P.O. Box 4400
Fredericton, New Brunswick
E3B 5A3

Department of Geodesy and Geomatics Engineering

Richard Langley
(506) 453-5142

P.O. Box 4400
Fredericton, New Brunswick
E3B 5A3

Department of Geology

John Spray
(506) 453-3550

Planetary and Space Science Centre
2 Bailey Drive
Fredericton, New Brunswick
E3B 5A3

Department of Physics and Astronomy

William Ward
(506) 447-3257

Bailey Drive
P.O. 4440
Fredericton, New Brunswick
E3B 5A3

Abdelhaq Hamza
(506) 458-7923

Thayyil Jayachandran
(506) 447-3330

Faculty of Forestry and Environmental Management

Rodney A. Savidge
(506) 453-4919

P.O. Box 44555
28 Dineen Drive
Fredericton, New Brunswick
E3B 6C2

University of Ontario Institute of Technology

Associate Provost
Research and Graduate Studies

Kamiel Gabriel
(905) 721-8668

2000 Simcoe Street North
Oshawa, Ontario
L1H 7K4

Université d'Ottawa

Département de chimie

J.C. (Tito) Scaiano
(613) 562-5896

Pavillon D'Iorio
10, Marie-Curie
Ottawa (Ontario)
K1N 6N5

Faculté de médecine

Guy Trudel
(613) 737-4350

Centre de réadaptation
505, chemin Smythe
Ottawa (Ontario)
K1H 8M2



Collège militaire royal du Canada

Département de physique
Jean-Marc Noël
(613) 541-6000 poste 6037

C.P. 17000, Succursale Forces
Kingston (Ontario)
K7K 7B4

Ryerson University

Department of Mechanical Engineering
Ziad Saghir
(416) 976-5000

350 Victoria Street
Toronto, Ontario
M5B 2K3

University of Saskatchewan

Department of Biochemistry
Louis Delbaere
(306) 966-4359

Health Sciences Building
Room A3
107 Wiggins Road
Saskatoon, Saskatchewan
S7N 5E5

Civil and Geological Engineering
Chris Hawkes
(306) 966-5753

Engineering Building
57 Campus Drive
Room 2B24
Saskatoon, Saskatchewan
S7N 5A9

Department of Physics and Engineering Physics
Glenn Hussey
(306) 966-6442

Physics Building
116 Science Place
Saskatoon, Saskatchewan
S7N 5E2

Alexandre Koustov
(306) 966-6426

Ted Llewellyn
(306) 966-6441

Alan Manson
(306) 966-6449

Kathryn McWilliams
(306) 966-6605

George Sofko
(306) 966-6444

Jean-Pierre St.-Maurice
(306) 966-2906

Université de Sherbrooke

Département de médecine nucléaire et radiobiologie
Michael Huels
(819) 346-1110

Faculté de médecine
3001, 12^e avenue Nord
Sherbrooke (Québec)
J1H 5N4

Simon Fraser University

Department of Mathematics and Statistics
Stephen Braham
(604) 291-5617

8888 University Drive
Burnaby, British Columbia
V5A 1S6

Department of Molecular Biology and Biochemistry
David Leonard Baillie
(604) 268-6590

Various Departments
Peter Anderson
(604) 291-4921

University of Toronto

Department of Astronomy
Barth Netterfield
(416) 946-5465

McLennan Physical Laboratories
60 St. George Street
Room 1309
Toronto, Ontario
M5S 1A7

Department of Chemical Engineering and
Applied Chemistry
Yu-Ling Cheng
(416) 978-2011

200 College Street
Toronto, Ontario
M5S 3E5

Masahiro Kawaji
(416) 978-3064

Department of Geology
Barbara Sherwood Lollar
(416) 978-0770

Earth Sciences Centre
22 Russell Street
Toronto, Ontario
M5S 3B1

Department of Physics
James Drummond
(416) 978-4723

60 St. George Street
Toronto, Ontario
M5S 1A7

Stephen W. Morris
(416) 978-6810

Kimberly Strong
(416) 946-3217

Department of Material Science
Department of Electrical and Computer
Engineering
Harry E. Ruda
(416) 946-3913

170 College Street
Toronto, Ontario
M5S 3E4

Department of Mechanical and
Industrial Engineering
Charles A. Ward
(416) 978-4807

Mechanical Engineering Building
5 Kings College Road
Room 226
Toronto, Ontario
M5S 3G8

Department of Surgery and Immunology
Reginald M. Gorczynski
(416) 978-3526

Simcoe Hall
27 King College Circle
Room 133S
Toronto, Ontario
M5S 1A1

Department of Zoology
Marla B. Sokolowski
(905) 828-5326

Erindale Campus
3359 Mississauga Road
Mississauga, Ontario
L5L 1C6

Faculty of Dentistry
Johan N.M. Heersche
(416) 978-2011

Simcoe Hall
27 King College Circle
Room 133S
Toronto, Ontario
M5S 1A1

Various Departments
Richard Bond
(416) 978-6874

McLennan Physical Laboratories
60 St. George Street
Room 1212
Toronto, Ontario
M5S 3H8

University of Toronto at Scarborough

Department of Zoology
Rene Elizabeth Harrison
(416) 978-2011

27 King College Circle
Toronto, Ontario
M5S 1A1

University of Victoria

Department of Mechanical Engineering
Sadik Dost
(250) 721-8898/4201

Engineering Office Wing 548
3800 Finnerty Road (Ring Road)
Victoria, British Columbia
V8P 5C2

Department of Physics and Astronomy
John Hutchings
(250) 363-0018

Elliott Building
3800 Finnerty Road
Victoria, British Columbia
V8P 5C2

Various Departments
Johan G. De Boer
(250) 472-4079

Centre for Environmental Health
P.O. Box 3020, Station CSC
Victoria, British Columbia
V8W 3N5

Robert Gifford
(250) 380-9881

Optimal Environments Inc.
1958 Crescent Road
Victoria, British Columbia
V8S 2H1

University of Waterloo

Department of Chemistry
Peter Bernath
(519) 888-4814

200 University Avenue West
Waterloo, Ontario
N2L 3G1

Department of Physics
Michel Fich
(519) 888-4567 ext. 2725

200 University Avenue West
Waterloo, Ontario
N2L 3G1

Faculty of Applied Health Sciences
Richard L. Hughson
(519) 888-4567

Cardiorespiratory and Vascular Dynamics Laboratory
200 University Avenue West
Waterloo, Ontario
N2L 3G1



University of Western Ontario

Department of Biology

Miodrag Grbic

(519) 661-2111

1151 Richmond Street

Suite 2

London, Ontario

N6A 5B8

Department of Electrical and Computer Engineering

John MacDougall

(519) 661-2111 ext. 86934

1151 Richmond Street

Suite 2

London, Ontario

N6A 5B9

Department of Physics and Astronomy

John R. DeBruyn

(519) 661-2111

1151 Richmond Street

London, Ontario

N6A 3K7

Faculty of Health Sciences

John Trevithick

(519) 661-3063

Thames Hall

Room 2170B

London, Ontario

N6A 3K7

Neurovascular Research Laboratory

Kevin J. Shoemaker

(519) 661-2111

School of Kinesiology

Thames Hall

Room 3110

London, Ontario

N6A 3K7

University of Winnipeg

Department of Geography

Ed Cloutis

(204) 786-9386

515 Portage Avenue

Winnipeg, Manitoba

R3B 2E9

York University

Department of Earth and Atmospheric Science
Diane Michelangeli
(416) 736-2100 ext. 77713

4700 Keele Street
Toronto, Ontario
M3J 1P3

Department of Earth and Space
Science and Engineering
Peter Taylor
(416) 736-2100

Department of Kinesiology and Health Science
Barry Fowler
(416) 736-5728

Department of Physics and Astronomy
Jim Whiteway
(416) 736-2100

Department of Psychology
Laurence R. Harris
(416) 736-2100

Various Departments
Ian McDate
(416) 736-2100

Brian H. Solheim
(416) 736-2100

Autres ministères et organismes gouvernementaux

Centre de recherche sur les communications

Propagation Terre-espace
Gordon James
(613) 998-2230

3701, avenue Carling
C.P. 11490, Succursale H
Ottawa (Ontario)
K2H 8S2

Paul Prikryl
(613) 998-2068

Environnement Canada

David Hudak
(905) 833-3905

Division de la recherche sur la physique des nuages
et le temps violent
4905, rue Dufferin
Downsview (Ontario)
M3H 5T4



Commission géologique du Canada

Yuri Amelin
(613) 995-3471

Richard Herd
(613) 992-4042

601, rue Booth
Salle 693
Ottawa (Ontario)
K1A 0E8

IALA – Instituts de recherche en santé du Canada

(613) 941-2672

160, rue Elgin, 9^e étage
Indice de l'adresse 4809A
Ottawa (Ontario)
K1A 0W9

INRS – Énergie, matériaux et télécommunications

Guy G. Ross
(450) 929-8108

1650, boulevard Lionel-Boulet
C.P. 1020
Varenes (Québec)
J3X 1S2

Institut Herzberg d'astrophysique – Conseil national de recherches Canada (IHA–CNRC)

David Schade
(250) 363-6904

5071, chemin Saanich Ouest
Victoria (Colombie-Britannique)
V9E 2E7

Ken Tapping
(250) 490-4345

C.P. 248
Penticton (Colombie-Britannique)
V2A 6J9

Ressources naturelles Canada

David Boteler
(613) 837-2035

7, croissant de l'Observatoire
Ottawa (Ontario)
K1A 0Y3