

RAPPORT DE L'AGENCE SPATIALE CANADIENNE
À LA 38^{IÈME} ASSEMBLÉE DU COSPAR (BRÊME, ALLEMAGNE)
LA RECHERCHE EN SCIENCES SPATIALES AU CANADA



Agence spatiale
canadienne

Canadian Space
Agency



Canada 



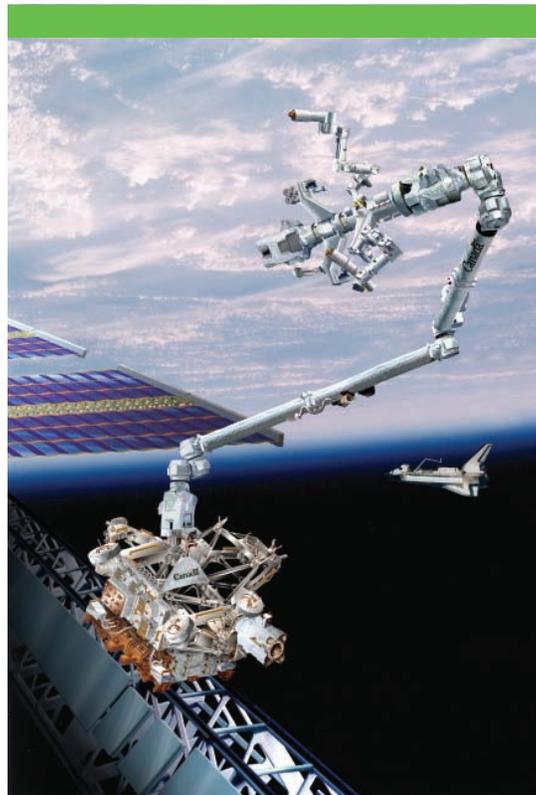
INTRODUCTION

Le Canada a réussi des exploits

remarquables en matière de recherche et développement, et d'exploration spatiale, et ce, malgré des ressources limitées, des budgets modestes et une communauté relativement restreinte de joueurs industriels et universitaires.

Le Canada a été l'un des premiers pays au monde à recourir à l'imagerie satellitaire pour cartographier son territoire. Il a de plus érigé le premier système national de télécommunications par satellites, a contribué à la conception et à la construction de satellites radar perfectionnés qui surveillent les glaces et les navires sur de vastes zones, et a mis au point des instruments spatiaux et des satellites capables de suivre l'évolution de la pollution atmosphérique et d'évaluer l'état de la couche d'ozone.

Le succès du Canada dans l'espace est attribuable en grande partie à la décision de l'Agence spatiale canadienne (ASC) de se concentrer sur des domaines particuliers de la recherche-développement liée à l'espace, permettant ainsi au Canada de développer une expertise et une compétitivité de classe internationale dans divers créneaux de pointe. En partenariat avec la



communauté des chercheurs, l'industrie, les organismes gouvernementaux canadiens et les organisations internationales, l'ASC a donné aux entreprises canadiennes la possibilité de participer à d'importants projets d'envergure internationale qui rehaussent notre compétitivité à l'échelle globale et qui génèrent des résultats ainsi que de nouvelles connaissances au profit des Canadiens, de la qualité de la vie et de la santé de notre planète.

Le succès de cette approche est particulièrement manifeste dans les plus récentes activités de recherche spatiale que mène le Canada, que ce soit pour améliorer la santé et la sécurité des explorateurs spatiaux ou pour mesurer l'incidence des activités spatiales sur nous tous, ici sur Terre.

- Dans le cadre d'une étude menée par une équipe de chercheurs de l'Université York, six astronautes à bord de la Station spatiale internationale se soumettent à des expériences pour comprendre comment fonctionne leur sens de l'orientation spatiale en conditions d'impesanteur. En l'absence de pesanteur, les astronautes se fient uniquement à la position de leur corps et à des indices visuels

pour distinguer le haut du bas. La désorientation peut avoir de graves conséquences pour les astronautes. Ils pourraient, par exemple, actionner un interrupteur dans la mauvaise position ou encore se diriger dans la mauvaise direction lors d'une situation d'urgence.

- Pendant de longs séjours dans l'espace, les os des astronautes s'affaiblissent, ce qui augmente les risques de fractures. L'ASC s'est associée à des partenaires industriels et universitaires canadiens afin de concevoir, construire et exploiter eOSTEO, un mini laboratoire entièrement automatisé, pour étudier les processus qui régissent la perte osseuse en microgravité.
- Lors d'une expérience hors du commun, 24 femmes ont passé deux mois allongées dans des lits légèrement inclinés simulant la microgravité. Deux équipes de chercheurs canadiens ont obtenu des résultats fascinants. Le D^r Guy Trudel de l'Université d'Ottawa et son équipe se penchent sur divers traitements permettant de minimiser les effets de la microgravité sur l'organisme humain et qui pourraient également améliorer le traitement

de maladies chroniques chez l'enfant. En examinant les changements que subit le système cardiovasculaire des volontaires, le D^r Richard Hughson de l'Université de Waterloo a enrichi nos connaissances sur l'adaptation du cœur et des vaisseaux sanguins à la microgravité.

- Dans le cadre de l'expérience, distincte mais connexe, désignée CCISS (Contrôle cardiovasculaire et cérébrovasculaire au retour de la Station spatiale internationale), le D^r Hughson a examiné l'adaptation physiologique des astronautes à la microgravité sur de longues périodes. Son équipe espère déterminer quels sont les effets à long terme de l'impesanteur et trouver des moyens de les alléger.
- L'atmosphère terrestre et la magnétosphère nous protègent des effets du rayonnement spatial. Toutefois, les astronautes qui travaillent en orbite basse courent un risque plus élevé de développer un cancer ou d'autres problèmes de santé puisqu'ils sont exposés à des doses supérieures de rayons spatiaux. Une nouvelle étude scientifique sur le rayonnement spatial, désignée Étude Radi-N des neutrons in situ, mesure les niveaux de

rayonnements neutroniques à bord de la Station spatiale internationale pour approfondir nos connaissances sur ce phénomène.

- Quelques heures à peine après que l'atterrisseur martien Phoenix ait foulé le sol de la calotte polaire nordique de Mars, la station météorologique MET, conçue et construite par le Canada, a commencé à enregistrer les conditions météo quotidiennes qui régnaient au-dessus de la planète. Elle a pris des mesures de la vitesse des vents, de la pression atmosphérique et de la température. La station MET a sondé nombre de mystères anciens entourant la planète rouge, en particulier ceux concernant l'eau et les cycles de précipitation.
- Deux instruments à bord de l'observatoire spatial Herschel et auxquels le Canada a contribué – HIFI (Instrument hétérodyne pour l'observation dans l'infrarouge lointain) et SPIRE (Récepteur d'imagerie spectrale et photométrique) – aident les astronomes à étudier la formation des étoiles et des galaxies ainsi que la chimie moléculaire dans divers environnements cosmiques. HIFI est l'instrument principal qui analyse la chimie de notre galaxie depuis l'espace, tandis que

l'instrument SPIRE capte des images et fait simultanément des observations spectrales d'une vaste région du ciel. Il a déjà fait la démonstration de ses extraordinaires capacités en réalisant des observations profondes dans des champs extragalactiques. SPIRE nous fournit également des indices quant à l'origine du fond cosmique infrarouge.

- Deux des quatre missions en sciences atmosphériques que mène l'ASC portent sur l'étude des changements qui surviennent dans la couche d'ozone au-dessus de l'Arctique. Les résultats de ces deux missions – OSIRIS et SCISAT – ont grandement contribué aux travaux internationaux sur la modélisation du climat ainsi qu'aux évaluations du rétablissement de la couche d'ozone et du changement climatique. Des centres météorologiques de partout au monde comptent aujourd'hui sur OSIRIS et SCISAT pour mesurer et modéliser la stratosphère et établir des prévisions météo plus précises et en temps opportun.



LA RECHERCHE ATMOSPHÉRIQUE DEPUIS L'ESPACE

Vu sa position nordique, le Canada s'intéresse tout naturellement à l'appauvrissement de la couche d'ozone au-dessus de l'Arctique. En fait, deux des quatre missions d'étude de l'atmosphère de l'Agence spatiale canadienne portent sur la surveillance des changements dans la couche d'ozone.

Mis à part les intérêts particuliers du Canada, les résultats des deux missions – appelées OSIRIS et SCISAT – ont apporté une contribution importante à la modélisation climatique internationale et à l'évaluation de la restauration de la couche d'ozone et des changements climatiques.

En orbite terrestre à bord du satellite suédois Odin, lancé de la Sibérie en 2001, l'instrument OSIRIS (Spectrographe optique et imageur dans l'infrarouge) permet à la communauté scientifique internationale d'observer et de mesurer la couche d'ozone ainsi que les quantités d'aérosols dans l'atmosphère à partir de l'espace. Près d'une décennie après son lancement, l'instrument continue de saisir des informations détaillées sur l'appauvrissement de la couche d'ozone et sur les aérosols qui contribuent au changement



OSIRIS à bord d'ODIN

climatique, surtout dans les latitudes élevées et au-dessus du Canada.

L'instrument OSIRIS est exploité par une équipe de l'Institute of Space and Atmospheric Studies de l'Université de la Saskatchewan. Les données d'OSIRIS sont utilisées pour développer des modèles tomographiques qui révèlent la structure de l'atmosphère d'une toute nouvelle manière. OSIRIS fournit des données cruciales pour les études sur l'appauvrissement de la couche d'ozone grâce à la production de profils quotidiens, mensuels et annuels de l'ozone pour une région donnée. Avec OSIRIS, les scientifiques peuvent observer des endroits où l'ozone subit des changements et dresser des cartes des concentrations d'aérosols et de dioxyde d'azote, lesquels sont de grands polluants atmosphériques.

Lancé deux ans après OSIRIS, SCISAT était censé fonctionner pendant deux ans seulement. Sept ans plus tard, la communauté internationale continue de tirer profit de ce satellite et de son instrument principal appelé Expérience sur la chimie atmosphérique (ACE). En fait, la mission SCISAT a connu un tel succès que

l'équipe chargée de son développement a reçu le prix Alouette 2009, qui récompense les contributions remarquables à l'avancement de la technologie, des applications, des sciences et du génie dans le domaine spatial au Canada.

SCISAT transporte deux instruments principaux, conçus et construits au Canada, qui lui permettent de remplir sa mission de télédétection de l'atmosphère terrestre. Les deux instruments prennent des mesures en occultation solaire, ce qui signifie qu'ils observent le Soleil à travers l'atmosphère lorsqu'il se lève et se couche, et ce, 30 fois par jour (15 orbites par jour). Les données recueillies à l'aide d'un de ces instruments, le spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (ACE-FTS), sont généralement considérées comme étant la norme dans la façon de mesurer la concentration des éléments constitutants de l'atmosphère moyenne de la Terre. L'instrument mesure couramment environ 35 types de gaz, ainsi que différents types d'aérosols.

Le deuxième instrument à bord de SCISAT est un spectrophotomètre appelé MAESTRO (Mesure de l'extinction des aérosols par occultation dans la

stratosphère et dans la troposphère). Tout au long de sa mission, MAESTRO a fourni des données à haute résolution sur l'atmosphère et des profils précis sur la concentration de l'ozone. Il a aussi mesuré la quantité de particules organiques et inorganiques en dessous des trous de la couche d'ozone en région polaire et près de sources importantes de pollution troposphérique. La troposphère est la partie de l'atmosphère qui se situe entre la surface de la Terre et une altitude d'environ 15 km.

Depuis son lancement, le satellite SCISAT a détecté dans l'atmosphère des polluants qui n'avaient jamais été identifiés depuis l'espace. Ces mesures nous permettent de mieux comprendre les particularités de notre atmosphère complexe et dynamique et, qui plus est, les changements qui découlent de l'activité humaine et des phénomènes naturels.

Les deux instruments prennent des mesures en occultation solaire, ce qui signifie qu'ils observent le Soleil à travers l'atmosphère lorsqu'il se lève et se couche, et ce, 30 fois par jour (15 orbites par jour).



LES SCIENCES DES RELATIONS SOLEIL-TERRE AU CANADA

De tous les pays nordiques du monde, le Canada est peut-être le « mieux placé » pour voir les aurores boréales. Notre situation favorable donne aussi aux scientifiques une occasion unique d'étudier les vents solaires qui créent ce phénomène naturel fascinant.

On connaît déjà beaucoup de choses sur le vent solaire. Il s'agit d'un flux constant d'ions et d'électrons émis par le Soleil qui s'étend dans tous les sens. Traversant l'espace à une vitesse moyenne de 400 km à la seconde, le vent solaire interagit avec le champ magnétique de la Terre, ce qui l'étire et crée une longue queue en aval. L'énergie emmagasinée dans cette queue est relâchée sous forme de salves de particules accélérées et de courants électriques appelées sous-orages. Ces sous-orages se produisent le long du plan équatorial du côté de la Terre où il fait nuit, puis ils se propagent le long des lignes du champ magnétique jusqu'aux régions polaires. C'est là qu'ils créent les phénomènes nocturnes spectaculaires appelés aurores boréales.

Cependant, malgré de nombreuses études de la magnétosphère et de la météorologie spatiale de la Terre, les scientifiques n'ont toujours pas réussi à déterminer l'endroit et le point où l'énergie de ces



sous-orages se transforme en aurores boréales. Le programme THEMIS, une mission de recherche menée en collaboration et à laquelle participent un certain nombre d'organisations canadiennes et américaines, tire maintenant profit de l'emplacement unique du Canada et de ses chercheurs talentueux dans le domaine spatial pour répondre à cette question et pour résoudre d'autres énigmes concernant les sous-orages.

THEMIS utilise cinq satellites identiques dont l'apogée – le point où ils sont le plus loin de la Terre – s'aligne tous les quatre jours avec un réseau d'observatoires au sol, dont 16 se trouvent au Canada et quatre en Alaska.

Eric Donovan, professeur agrégé en physique et en astronomie à l'Université de Calgary, a dirigé l'équipe canadienne d'ingénieurs et de scientifiques qui ont aidé leurs homologues américains à développer le réseau d'observatoires. Aujourd'hui chef canadien du programme THEMIS, M. Donovan est chargé de la supervision des 16 observatoires canadiens et de la collecte des énormes quantités de données générées par les 20 observatoires.

On utilise ces données pour répondre à des questions que l'on se pose depuis longtemps sur la nature des sous-orages et sur le relâchement abrupt et explosif de l'énergie provenant du vent solaire et emmagasinée dans la queue de la magnétosphère de la Terre. Les principaux objectifs du programme THEMIS sont de déterminer :

- quand et où les sous-orages se forment-ils;
- comment les composants des sous-orages interagissent-ils;
- comment les sous-orages alimentent-ils les aurores boréales.

Un autre programme canadien novateur s'avère une réussite aussi intense que la lumière d'une aurore boréale. Le Programme canadien de surveillance géospatiale (PCSG) est un programme coordonné d'observation, d'assimilation des données et de modélisation qui, comme le programme THEMIS, tire profit du fait que le Canada possède la plus grande masse continentale accessible sous les régions aurorales et polaires. Cette situation idéale vient s'ajouter à l'histoire du Canada en tant que chef de file dans les sciences des relations Soleil-Terre.

Grâce au PCSG, des scientifiques canadiens dirigent les efforts internationaux visant à répondre à des questions fondamentales et à aborder des sujets au cœur même des travaux de recherche en physique spatiale. Le but premier du programme est d'améliorer notre compréhension de la façon dont la masse et l'énergie sont transportées dans tout le système Soleil-Terre. Son objectif scientifique principal est de faire la lumière sur les processus fondamentaux qui régissent la convection, les instabilités de la queue de la magnétosphère (que les chercheurs de THEMIS étudient aussi), l'accélération des particules aurorales et l'énergisation, le transport et la perte des particules magnétosphériques.

Le PCSG aura d'importantes retombées. Si les buts du programme sont atteints, on fera progresser considérablement les prévisions de la météorologie spatiale et le développement de modèles empiriques de l'environnement spatial. De plus, les travaux de recherche du PCSG seront essentiels pour nous permettre de comprendre comment la météorologie spatiale influe sur la météorologie et le climat de la Terre, tout particulièrement de nos jours, alors que les environnements magnétiques du Soleil et de la Terre subissent des changements rapides.

Le but premier du programme est d'améliorer notre compréhension de la façon dont la masse et l'énergie sont transportées dans tout le système Soleil-Terre.

L'équipe scientifique de la mission THEMIS est dirigée par l'Université de la Californie à Berkeley, au nom de la NASA, et elle réunit des scientifiques des É.-U., du Canada et de l'Europe. L'équipe canadienne de la mission THEMIS est financée par l'ASC et y participent les universités de Calgary, de l'Alberta, du Nouveau-Brunswick, de la Saskatchewan et d'Athabaska, ainsi que Ressources naturelles Canada.

Le programme canadien de surveillance géospatiale fait appel à plus d'une trentaine de chercheurs provenant de cinq universités canadiennes (Université de l'Alberta, Université de Calgary, Université de la Saskatchewan, Université de Waterloo et Université du Nouveau-Brunswick) ainsi qu'à trois organismes gouvernementaux (Ressources naturelles Canada, Observatoire fédéral de radioastrophysique du Conseil national de recherches du Canada et Agence spatiale canadienne).

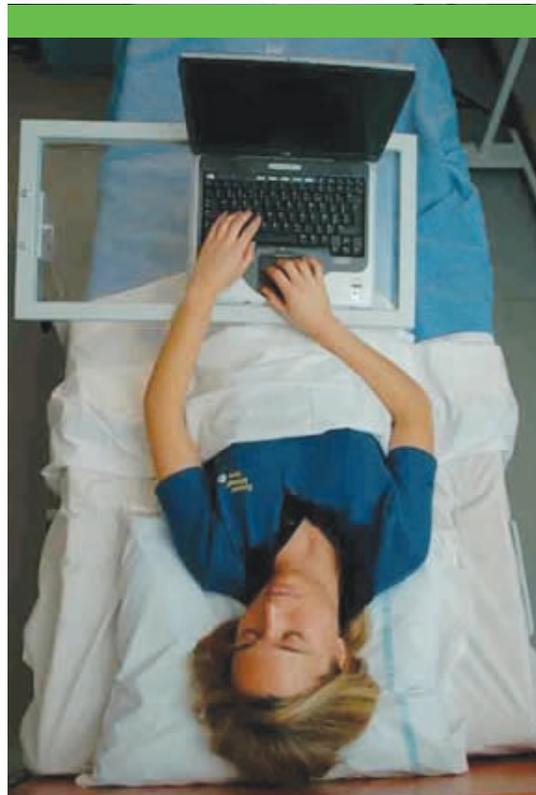


L'EXPÉRIENCE WISE (WOMEN INTERNATIONAL SPACE SIMULATION FOR EXPLORATION)

La plupart des gens croient qu'il faut réellement aller dans l'espace pour mener ou faire progresser des travaux de recherche spatiale. Mais comme l'a démontré une expérience inhabituelle, il n'est même pas nécessaire de sortir du lit.

Dans le cadre de cette expérience, appelée WISE (Women International Space Simulation for Exploration), 24 femmes volontaires ont passé deux mois alitées avec la tête à six degrés sous l'horizontale. Cela s'est passé en deux phases, 12 femmes participant à chacune d'elles.

La légère inversion a été conçue pour simuler les effets de l'apesanteur sur le corps humain et les répercussions physiques découlant du fait de rester dans cette position pendant une longue période. Les constatations ont confirmé les effets que les scientifiques avaient observés chez les astronautes à leur retour de l'espace : les muscles s'atrophient en raison du manque d'activité physique, le rythme cardiaque augmente, le contrôle de la tension artérielle est affaibli et il y a un manque de coordination. L'expérience WISE a aussi permis d'étudier les effets psychologiques de l'isolement, de la monotonie et de la faible mobilité - d'autres conditions semblables à celles que doivent affronter



les astronautes qui font de longs séjours à bord de la Station spatiale internationale.

Certaines des candidates ont mené leurs activités quotidiennes au lit tout au long de l'étude. Elles devaient rester la tête en bas pour prendre leurs repas, pour faire leur toilette et même pour s'adonner à leurs loisirs. Un groupe de participantes a pris part à des activités quotidiennes (en faisant de la course à pied sur un tapis roulant conçu spécialement pour être utilisé à l'horizontale ou des contractions des jambes sur un appareil d'exercice à résistance) afin de déterminer les avantages de l'exercice physique comme contre mesure. Bon nombre de ces femmes ont profité de leur temps libre pour regarder la télévision, apprendre une nouvelle langue ou étudier un sujet qui les intéressait. On a choisi des femmes comme volontaires parce qu'il existe peu de données sur l'adaptation du corps féminin à l'apesanteur et sur la façon d'atténuer les effets de la microgravité sur les femmes. Une étude semblable a été menée en 2001 sur des sujets masculins.

Un des deux scientifiques canadiens qui participent à l'étude WISE, le Dr Guy Trudel de la Faculté de médecine de l'Université d'Ottawa, comptait parmi

ceux qui étudient la réaction du corps humain à de longues périodes d'inactivité, comme l'accumulation de gras dans la moelle des os et son effet sur les cellules qui produisent le sang dans la moelle, les changements que subissent les tendons et les changements adipeux dans les muscles.

Le D^r Trudel, spécialiste de la réadaptation médicale, est tout particulièrement qualifié pour contribuer à l'expérience WISE. Au Centre de réadaptation de l'Hôpital d'Ottawa, il traite les gens qui doivent rester alités pendant de longues périodes. Ces patients souffrent des mêmes problèmes physiques que les astronautes à leur retour de l'espace, notamment l'atrophie musculaire et la perte de masse osseuse.

À partir des conclusions de l'expérience WISE, l'équipe du D^r Trudel cherche à l'heure actuelle les traitements qui aideraient à minimiser les effets de la microgravité sur le corps humain. En termes pratiques, les membres de l'équipe estiment que les résultats de l'expérience WISE mèneront à des traitements améliorés non seulement pour les alitements prolongés, mais aussi pour les maladies chroniques qui réduisent la mobilité.

L'autre Canadien qui fait partie de l'équipe WISE, le D^r Richard Hughson du Département de kinésiologie à l'Université de Waterloo, examine comment la structure et la fonction des systèmes cardiovasculaires des volontaires ont changé pendant la période d'alitement, afin d'en savoir plus long sur la façon dont le cœur et les vaisseaux sanguins s'adaptent à la microgravité. Ces constatations sont ensuite comparées à ce que les chercheurs ont relevé chez les astronautes à leur retour sur Terre.

Selon le D^r Hughson, le corps compense l'absence de gravité en réduisant le volume sanguin, alors que les réflexes qui contrôlent le cœur et les vaisseaux sanguins perdent de leur efficacité. Cela accroît le risque d'évanouissements et d'étourdissements après un retour de l'espace. Dans notre vie de tous les jours sur Terre, la transition entre une position couchée et une position debout impose des contraintes sur notre système cardiovasculaire. Les travaux de recherche de l'expérience WISE nous ont aidés à comprendre pourquoi les gens qui sont sujets aux étourdissements ou aux évanouissements, comme les personnes âgées, sont susceptibles de perdre connaissance et de tomber, et à déterminer ce qu'on peut faire pour prévenir ces problèmes.

Il est essentiel de développer des contremesures plus efficaces pour garantir la santé des astronautes et le succès des missions spatiales de longue durée.

Les contremesures actuelles sont sécuritaires pour les astronautes à bord de la Station spatiale internationale, mais il est probable qu'il faudra adopter des contremesures additionnelles ou plus rigoureuses lors de missions plus longues. Par exemple, lors d'une mission vers Mars, les astronautes seraient en apesanteur et dans un environnement à gravité réduite pendant une période pouvant atteindre trois ans. Il est essentiel de développer des contremesures plus efficaces pour garantir la santé des astronautes et le succès des missions spatiales de longue durée.

L'expérience internationale WISE est parrainée par l'Agence spatiale européenne. Deux chercheurs canadiens, soit le Dr Richard Hughson de l'Université de Waterloo et le Dr Guy Trudel de l'Université d'Ottawa y participent grâce à la contribution de l'ASC à l'étude.



ÉTUDE BISE : CORPS EN MILIEU SPATIAL

Les humains se fient sur trois facteurs pour s'orienter dans un espace tridimensionnel : la gravité, la vision et l'information obtenue des autres capteurs corporels. Mais que se passe-t-il si l'on élimine l'un de ces facteurs ? Par exemple, qu'est-ce qui arrive aux astronautes dans l'espace – un milieu sans gravité – qui doivent se fier uniquement à la vision et aux autres informations de leur corps pour distinguer le bas du haut ?

Une équipe de chercheurs de l'Université York, appuyée par l'Agence spatiale canadienne et dirigée par Laurence Harris, tente de déterminer comment les astronautes distinguent le bas du haut dans des conditions de microgravité. Dans le cadre de cette expérience – appelée Corps en milieu spatial (BISE) – les scientifiques analysent les données recueillies avant, pendant et après un vol dans l'espace. Six astronautes, y compris l'astronaute de l'Agence spatiale canadienne Bob Thirsk, se sont portés volontaires pour participer à l'étude BISE, que l'on mène au cours d'une mission de recherche à bord de la Station spatiale internationale (ISS).



Dans le cadre de cette étude, les six astronautes regardent un écran d'ordinateur à travers un cylindre qui bloque toute autre information visuelle. Des images s'affichent alors à l'écran de l'ordinateur – orientées vers le haut, le bas, la gauche, la droite ou en diagonale par rapport aux astronautes – et une lettre est alors superposée dans le haut de chaque image. Cette lettre pourrait être un « p » ou un « d », selon son orientation, et les astronautes doivent dire de quelle lettre il s'agit, selon eux.

L'équipe de scientifiques de l'Université York mesurera les points de transition où la lettre passe d'un p à un d, et vice-versa. L'angle entre ces deux points devient la « perception du haut ». L'équipe peut ensuite modifier cette perception du haut en changeant l'orientation du corps de l'astronaute ou son orientation visuelle.

L'étude est particulièrement importante pour la sécurité des astronautes. Sans gravité qui les aide à distinguer le bas du haut, le cerveau des astronautes doit se fier aux deux seules sources d'information qui lui restent – la position du corps et ce que les astronautes peuvent voir autour d'eux – pour faire cette distinction. Si les astronautes sont désorientés, il est plus probable

qu'ils commettront des erreurs (actionner les mauvais commutateurs, se déplacer dans la mauvaise direction lors d'une situation d'urgence, etc.). M. Harris est convaincu que les constatations de l'équipe aideront à créer un environnement de travail plus sécuritaire dans l'espace.

La désorientation peut avoir de graves conséquences à bord de l'ISS, précise M. Harris. Par exemple, lors d'une évacuation d'urgence, il est essentiel d'amener rapidement les gens à la sortie la plus sécuritaire. « Mais pour ce faire, dit-il, il faut connaître l'information qu'ils utilisent et en déterminer l'efficacité. »

Dans ce contexte, les chercheurs du projet BISE espèrent déterminer l'importance relative des informations visuelles et corporelles dans la perception spatiale des sujets. Notamment, ils ont hâte de savoir comment le cerveau combine les différentes informations sur l'orientation pour arriver à la bonne réponse. Ils disposent de certains indices. Dans des études antérieures – effectuées dans des aéronefs spéciaux qui produisent de brèves périodes de microgravité – des scientifiques ont découvert que, sans gravité, les gens se fient plus aux informations

corporelles qu'à leur vision pour distinguer le bas du haut.

L'expérience BISE est aussi pertinente pour les astronautes qui se livrent à des activités extravéhiculaires. Étant donné qu'ils sont à l'extérieur de leur engin spatial, ils doivent ajuster leur position en se fiant aux informations visuelles dont ils disposent. L'étude a même des répercussions à long terme pour les gens qui n'iront jamais dans l'espace. Selon M. Harris, « les outils que nous allons développer dans le cadre de l'expérience BISE peuvent aussi aider les gens qui ont des problèmes d'équilibre ou qui ont tendance à tomber, y compris les aînés et les gens atteints de maladies comme le Parkinson. »

Parrainée par l'ASC, l'expérience BISE menée à bord de la Station spatiale internationale est dirigée par les chercheurs principaux de l'Université York Laurence Harris et Michael Jenkin. Parmi les cochercheurs, on compte Heather Jenkin, Richard Dyde et James Zacher (tous de l'Université York) ainsi qu'Andrew M. Liu et Charles M. Oman du MIT. Le soutien opérationnel et matériel a été fourni par l'ESA et le CNES. L'équipe d'intégration de la NASA (dirigée par Lisa Gall et le personnel du POIC du Centre Marshall) a assuré le soutien à l'intégration et aux opérations avant et pendant l'expérience.

Notamment, ils ont hâte de savoir comment le cerveau combine les différentes informations sur l'orientation pour arriver à la bonne réponse.

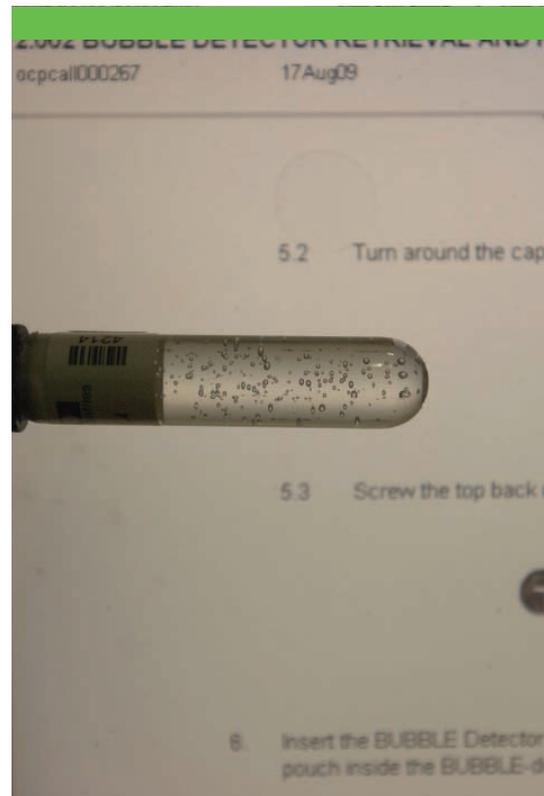


Radi-N : L'ÉTUDE DU RAYONNEMENT SPATIAL

Le fait de vivre et de travailler dans l'espace, surtout pendant de longues périodes, peut avoir un effet néfaste sur la santé et la sécurité des astronautes. Une des pires menaces qui les guettent est le rayonnement spatial, composé essentiellement de particules chargées à haute énergie qui traversent l'espace à grande vitesse. Ces particules ont trois sources principales :

- le rayonnement cosmique galactique provenant de l'extérieur du système solaire;
- les particules solaires émises par le Soleil pendant les éruptions solaires;
- le rayonnement emprisonné par le champ magnétique de la Terre.

L'atmosphère et la magnétosphère de la Terre protègent les humains à la surface de la planète contre les effets du rayonnement spatial, et elles offrent aussi une certaine protection aux astronautes en orbite basse, comme ceux qui séjournent à bord de la Station spatiale internationale (ISS). Cependant, cela ne suffit pas à contrer le risque accru de cancer et d'autres problèmes de santé causés par des doses plus fortes de rayonnement.



On procède actuellement à une étude portant sur le rayonnement spatial à bord de l'ISS. En collaboration avec les organismes spatiaux russes – le Centre scientifique national de l'Institut de recherche sur les problèmes biomédicaux (IBMP) de l'Académie des sciences de Russie et la société Rocket Space Corporation (RSC-Energia) – l'Agence spatiale canadienne tente d'en savoir plus long sur le rayonnement spatial et sur ses effets. Pour détecter les neutrons dans le cadre de l'étude, on utilise les dosimètres à bulles de la société canadienne Bubble Technology Industries. Ces dosimètres à bulles, que l'on utilise dans l'espace depuis 1989, ont été conçus de façon à détecter des neutrons sans tenir compte de la plupart des autres types de rayonnement. On estime que le rayonnement neutronique constitue de 10 à 30 pour cent de tout le rayonnement auquel les astronautes sont exposés dans l'espace.

Dans l'espace, les neutrons sont produits lorsque des particules de rayonnement primaire percutent de la matière physique, comme l'ISS. Puisque les neutrons ne sont pas chargés électriquement, ils sont capables de pénétrer profondément dans les tissus vivants. Cette invasion est susceptible d'endommager l'ADN ou de

le faire muter, ce qui peut entraîner des cataractes ou même le cancer.

Dans le cadre de l'Étude Radi-N des neutrons in situ, on a demandé à l'astronaute de l'Agence spatiale canadienne Bob Thirsk de mesurer le niveau de rayonnement neutronique à bord de l'ISS au cours de la mission Expedition 20/21. Il a placé six petits détecteurs de neutrons, qui ont la taille d'un doigt – chacun avec un seuil énergétique distinct – dans différents modules de l'ISS. Chaque dosimètre contenait des gouttes microscopiques de liquide en suspension dans un gel polymère transparent. Lorsqu'un neutron frappe le dosimètre, une gouttelette se vaporise, ce qui crée une bulle gazeuse visible dans le polymère. Les bulles ont été comptabilisées à l'aide d'un lecteur automatique pour déterminer le nombre de neutrons détectés par chaque dosimètre. Enfin, on a mesuré l'incidence et la gamme d'énergie du rayonnement neutronique dans toute l'ISS.

L'étude Radi-N fait suite à l'expérience Matroshka-R, elle aussi menée en collaboration avec l'IBMP, dans le cadre de laquelle un dispositif sphérique, appelé « fantôme », a été utilisé pour simuler le corps humain. Des dosimètres à bulles ont été installés à l'intérieur

et à proximité du fantôme pour enregistrer l'exposition aux neutrons des tissus et des organes en orbite basse. Lorsque l'expérience a démontré que les zones internes avaient absorbé une quantité plus grande que prévue de rayonnement neutronique, les scientifiques ont avancé une hypothèse selon laquelle les rayons cosmiques entraient en interaction avec le fantôme lui-même, ce qui créait une source secondaire de neutrons.

Les constatations de l'étude Radi-N constitueront une ressource précieuse pour évaluer avec précision les risques que présente le rayonnement neutronique dans l'espace. Les membres de l'équipe estiment que leurs travaux aideront un jour à protéger les astronautes contre le rayonnement lors de missions spatiales futures.

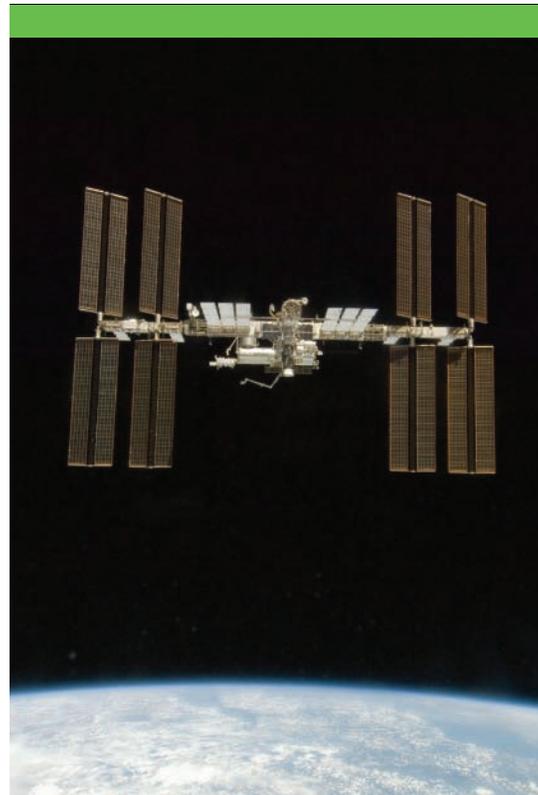
Des dosimètres à bulles ont été installés à l'intérieur et à proximité du fantôme pour enregistrer l'exposition aux neutrons des tissus et des organes en orbite basse.



L'EXPÉRIENCE CCISS : CŒURS SENSIBLES, S'ABSTENIR!

Dans l'espace, les astronautes ont des journées très chargées. Ils sont appelés à réaliser des tâches de construction, d'entretien et de recherche à bord de la Station spatiale internationale (ISS). Or, leur corps, tout comme les grands objets qu'ils doivent déplacer, flotte librement en impesanteur. Tous les jours sur Terre, sans même que nous nous en rendions compte, nous luttons contre la pesanteur. Dans l'espace, lorsque nous sommes affranchis de cette force, nos muscles et nos organes peuvent s'affaiblir. Dans l'environnement de microgravité qui caractérise l'ISS, le cœur, par exemple, n'a plus besoin de pomper autant de sang et les vaisseaux sanguins n'ont plus à se resserrer de la même manière que lorsque l'on est sur Terre. En l'absence de pesanteur, lorsque la position « debout » ne veut plus rien dire, le sang tend à s'accumuler dans la tête et le torse des astronautes.

L'organisme des astronautes s'adapte rapidement à la microgravité, mais lorsque ces derniers reviennent sur Terre, leur système cardiovasculaire est mis à rude épreuve. Souvent, les astronautes se sentent affaiblis ou éprouvent des vertiges puisque leur cerveau ne reçoit pas suffisamment de sang oxygéné. En fait,



80 pour cent des premiers astronautes qui ont pris part à des missions de longue durée à bord de la Station spatiale internationale ont souffert de vertiges et d'évanouissements à leur retour sur Terre, et 20 pour cent des astronautes de la navette spatiale font état de problèmes de santé similaires.

La vie en microgravité sans exercice physique approprié provoque un grave déconditionnement du système cardiovasculaire. C'est pourquoi de nouveaux programmes d'exercice sont mis en œuvre de manière à ce que les astronautes qui séjournent à bord de l'ISS reviennent sur Terre en bonne condition physique. En collaboration avec l'Agence spatiale canadienne, le chercheur Richard Hughson, de l'Université de Waterloo, travaille à déterminer si ces nouveaux programmes sont efficaces. Son expérience, intitulée CCISS (pour Contrôle cardiovasculaire et cérébrovasculaire au retour de l'ISS) étudie de façon approfondie la mesure dans laquelle le corps humain s'adapte aux séjours prolongés dans l'espace.

L'expérience CCISS a de vastes répercussions. Non seulement les résultats permettront-ils de mieux protéger les futurs voyageurs spatiaux, ils seront potentiellement

utiles sur le plan médical dans notre vie de tous les jours. Les personnes âgées qui souffrent d'évanouissements ou de pertes d'équilibre, et ceux et celles qui souffrent de maladies cardiaques causées par un style de vie trop sédentaire, tireront profit de cette expérience.

Le premier astronaute à avoir participé à l'expérience CCISS était l'Américain Clay Anderson. Membre de l'équipage Expedition 15, il a séjourné pendant 152 jours à bord de l'ISS en 2007. Dans le cadre d'une expérience en trois étapes, les chercheurs de l'équipe de M. Hughson ont établi comment la tension artérielle et le rythme cardiaque de Clay Anderson étaient régulés. Lors d'études poussées menées avant et après le vol spatial, ils ont surveillé la capacité des vaisseaux sanguins à maintenir la tension artérielle. Un autre volet de l'expérience portait sur la régulation de la tension artérielle pendant le séjour dans l'espace, et le troisième volet était consacré au contrôle du rythme cardiaque pendant les activités quotidiennes courantes.

Pour surveiller la tension artérielle en cours de mission, on a utilisé un appareil CBPD (Continuous Blood Pressure Device). Il s'agit d'un coussinet gonflable installé au doigt et qui permet de mesurer la pression

artérielle à chaque battement de cœur (mesure en continu). Le rythme cardiaque du sujet a aussi été observé en continu au moyen d'un moniteur Holter (l'expérience CCISS a été la toute première à recourir au nouveau moniteur Holter HM2) et on a demandé aux sujets de porter des dispositifs Actiwatch au poignet et à la cheville afin d'enregistrer leurs mouvements corporels. M. Hughson et les membres de son équipe ont ensuite analysé les 10 minutes de données recueillies sur la tension artérielle des sujets, ainsi que les 24 heures de données recueillies sur leur rythme cardiaque et activité physique. Le dernier sujet de l'expérience CCISS a été le Dr Bob Thirsk, astronaute de l'Agence spatiale canadienne, qui a séjourné six mois à bord de l'ISS à titre de membre de l'équipage Expedition 20/21.

Richard Hughson, qui dirige le Programme de vieillissement vasculaire à l'Institut de recherche sur le vieillissement de l'Université de Waterloo, mentionne que les résultats de l'expérience CCISS ont démontré la nécessité d'introduire des exercices réguliers et vigoureux dans le programme des astronautes afin de contrebalancer la très faible sollicitation des muscles pendant les séjours à bord de l'ISS. Ces résultats

CCISS ont démontré la nécessité d'introduire des exercices réguliers et vigoureux dans le programme des astronautes afin de contrebalancer la très faible sollicitation des muscles pendant les séjours à bord de l'ISS.

auront des répercussions sanitaires majeures pour les astronautes appelés à vivre et à travailler à bord de la station spatiale, et ils seront particulièrement importants pour les missions de plusieurs années qui amèneront l'humain sur Mars.

Selon les chercheurs, il est primordial de comprendre les mécanismes qui interviennent dans la diminution de l'apport sanguin au cerveau au moment du retour des astronautes sur Terre et de développer des mesures de prévention efficaces permettant de maintenir un bon flux sanguin au cerveau. « Si le cerveau de l'astronaute ne reçoit pas suffisamment de sang, ce dernier aura l'esprit embrouillé et il ne pourra pas effectuer les actions cruciales qu'il doit exécuter, indique M. Hughson. L'astronaute pourrait alors perdre connaissance et se blesser. »

Parrainée par la NASA, l'expérience CCISS menée à bord de l'ISS a été conçue par l'Université de Waterloo à laquelle l'ASC a fourni une aide financière, un accès à la station spatiale et un soutien en matière de coordination.



LA PERTE DE MASSE OSSEUSE DANS L'ESPACE : eOSTEO

Le fait de travailler en apesanteur présente de sérieux risques pour la santé des astronautes qui participent à des missions spatiales de longue durée. Leurs muscles s'atrophient à cause d'un manque d'activité physique, leur rythme cardiaque et leur tension artérielle augmentent, et leur coordination est souvent déficiente. Et il faut aussi tenir compte des effets psychologiques causés par de longues périodes d'isolement et de monotonie.

Cependant, un des plus grands risques que courent les astronautes est la perte de masse osseuse. Pendant un long séjour dans l'espace, les os des astronautes s'affaiblissent. En fait, ils peuvent perdre jusqu'à 10 pour cent de leur masse osseuse en seulement trois mois. Pire encore, la détérioration peut se poursuivre longtemps après leur retour sur Terre – et une partie de la masse osseuse perdue ne sera peut-être jamais récupérée.

Le problème découle du fait que cette perte osseuse accroît le risque de fractures, surtout des hanches, de la colonne vertébrale et des jambes. De plus, le calcium perdu par les os aboutit dans le sang, ce qui impose une charge additionnelle aux reins et, en bout de ligne, augmente les probabilités que surviennent des calculs rénaux et des problèmes connexes.



Pour tenter de résoudre le problème de la perte osseuse dans l'espace, l'Agence spatiale canadienne s'est associée à des partenaires des milieux industriel et universitaire pour concevoir, construire et exploiter un mini-laboratoire spatial entièrement automatisé. Appelé eOSTEO, ce laboratoire a permis à des scientifiques de mieux comprendre les processus qui causent la perte osseuse dans les conditions uniques de la microgravité. Grâce à eOSTEO, des scientifiques canadiens ont pu étudier :

- comment les cellules osseuses en microgravité réagissent à des signaux qui augmentent ou réduisent la formation osseuse;
- si la microgravité compromet l'architecture des cellules osseuses;
- si une hormone qui favorise la création d'os peut, en apesanteur, empêcher la mort des cellules qui construisent les os.

L'ingénieur canadien Lowell Misener, de Calm Technologies (anciennement Systems Technologies), a aidé à créer les systèmes électriques du projet OSTEO (OSTeoporosis Experiments in Orbit) original en 1998,

et il a dirigé la création du matériel de la mission eOSTEO, une version plus perfectionnée d'OSTEO. Les deux systèmes ont été conçus pour étudier comment se produit la perte osseuse dans l'espace et sur Terre.

Le poids du corps et les contraintes qu'imposent les mouvements et la gravité à nos os stimulent la croissance des cellules osseuses. Lorsqu'on élimine le poids et les contraintes – comme lorsqu'on se trouve en apesanteur – les cellules osseuses commencent à absorber le tissu osseux et relâchent des minéraux dans le sang. De plus, les os qui supportent généralement le corps, comme les os des jambes et des hanches, s'amincissent et perdent de leur densité, ce qui aggrave la perte osseuse par rapport à celle des bras, par exemple.

La perte osseuse qui touche les astronautes dans l'espace est semblable à un cas d'ostéoporose avancée, un phénomène qui frappe une femme sur quatre et un homme sur huit de 50 ans et plus. Chez les adultes, de 5 à 7 pour cent de la masse osseuse est remplacée chaque année – les cellules sont décomposées, puis reconstruites. Mais à mesure que le corps vieillit, la reconstruction n'arrive plus à suivre le rythme du

processus d'absorption, ce qui entraîne une réduction de la densité des os.

Le manque de gravité dans l'espace accélère ce processus. En fait, la perte osseuse en microgravité se produit jusqu'à 10 fois plus vite que sur Terre, et ce, même pour des astronautes sains et en bonne forme physique. Par conséquent, ajoute M. Misener, l'espace est un milieu idéal pour étudier l'ostéoporose. Il permet de gagner du temps et de réaliser des économies grâce à des travaux de recherche mieux ciblés.

Il est évident que la recherche sur les causes de la perte osseuse dans l'espace ne présentera pas des avantages uniquement pour les astronautes. Ce que les scientifiques découvriront dans le cadre du projet eOSTEO devrait permettre une meilleure compréhension de l'ostéoporose et des maladies connexes. Les chercheurs sont convaincus que le projet fera progresser la recherche visant à trouver des contremesures et, peut-être, un remède.

On considère que les expériences du projet OSTEO original sont l'une des grandes réussites du Canada dans l'espace. Lancées en 1998 à bord de la navette

Appelé eOSTEO, ce laboratoire a permis à des scientifiques de mieux comprendre les processus qui causent la perte osseuse dans les conditions uniques de la microgravité.

spatiale Discovery dans le cadre d'une mission visant l'étude du processus de vieillissement, ces expériences ont permis aux chercheurs d'étudier pour la première fois la croissance de cellules osseuses dans l'espace. Les scientifiques sont convaincus que les résultats de la mission eOSTEO viendront s'ajouter à cette réussite.

L'Université McGill et l'Université de Toronto dirigent les équipes scientifiques canadiennes, avec la participation de l'Agence spatiale canadienne et la collaboration internationale de l'Agence spatiale européenne, Roscosmos et TsSKB. Calm Technologies (anciennement System Technologies) était l'entrepreneur principal du système de culture de cellules eOSTEO et Orion Canada Inc. assumait le même rôle pour ce qui est des services d'assurance de la qualité.



LE CANADA SUR MARS : L'ATTERRISEUR MARTIEN PHOENIX

Le 25 mai 2008, tout juste quelques heures après que l'atterrisseur martien Phoenix eût touché le sol de la planète, on ressentait déjà sur Terre les répercussions de la contribution canadienne à cette mission historique. La station météorologique (MET) installée à bord de la sonde Phoenix, conçue et construite au Canada, a immédiatement commencé à enregistrer la pression et la température atmosphériques. Pendant toute la mission, la MET a transmis des rapports météo quotidiens d'un des environnements les plus hostiles et les moins connus de Mars. De plus, un capteur de vent fourni par l'Université Aarhus (Danemark) était installé en haut du mât de la station. L'instrument a mesuré la vitesse et la direction du vent, et il a détecté la présence d'au moins un tourbillon de poussière au site d'atterrissage.

Pendant ce temps, un instrument novateur canadien de première importance, appelé LIDAR (Light Detection and Ranging) faisait le suivi des régimes climatiques et des changements saisonniers au-dessus du site d'atterrissage. Le LIDAR, qui a la taille d'une boîte à chaussures, a sondé l'atmosphère martienne chaque jour tout au long de la mission, pendant quelque 137 heures au total – soit environ une heure par jour

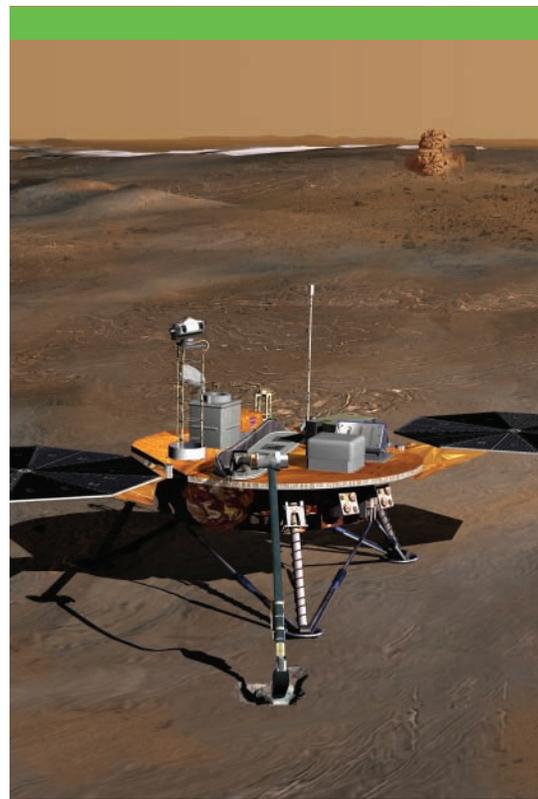


Photo : Laboratoire de propulsion par réaction de la NASA/Université de l'Arizona

martien – émettant plus de 49 millions de faisceaux laser, un record pour la surface de Mars. Le LIDAR est une technique perfectionnée qui permet de détecter le brouillard et les nuages ainsi que de faire le suivi des mouvements de poussière qui donnent de l'information sur la turbulence atmosphérique.

Grâce en partie à l'importante participation du Canada, la mission Phoenix a été un succès sans précédent. Depuis son site d'atterrissage difficile – une région du Haut Arctique, près de la calotte polaire nord de Mars, où Phoenix a confirmé la présence d'une grande quantité d'eau dans le sol – l'atterrisseur a envoyé vers la Terre un vaste éventail de données sur les cinq mois de l'été polaire martien, ce qui dépasse largement la durée prévue de la mission (trois mois).

Pendant cette période, la station MET a mesuré une tendance à la baisse dans la pression en surface à mesure qu'une certaine quantité de bioxyde de carbone atmosphérique de Mars se condensait sur la calotte polaire du côté hivernal de la planète. Entre-temps, le ciel dégagé est devenu nuageux et la station MET a eu l'occasion d'étudier un des mystères du climat actuel de Mars : qu'arrive-t-il à la glace d'eau de la calotte polaire

pendant l'été – est-elle transportée dans l'atmosphère et déposée ailleurs ?

La détection de la neige sur Mars par la station MET donne certainement à entendre qu'il est possible que de la vapeur d'eau puisse traverser de grandes distances à haute altitude dans l'atmosphère avant de retomber au sol, loin de sa source de surface glacée. Cependant, le rapport publié par les scientifiques canadiens qui participent au projet – « Mars Water-Ice Clouds and Precipitation » – présente une hypothèse différente, selon laquelle les cristaux de glace d'eau observés au-dessus du site de la sonde Phoenix aujourd'hui sont peut-être enfermés dans un cycle quotidien restreint. De la vapeur d'eau, provenant du sol glacé, s'élève dans l'atmosphère pendant le jour, formant ainsi à faible altitude des nuages de cristaux de glace qui ressemblent à des cirrus sur Terre. La nuit, l'eau se précipite et elle tombe sous forme de neige.

Le scientifique principal de la station MET, Jim Whiteway (Ph. D.) de l'Université York, dit que le signal de neige qu'a détecté la station météorologique canadienne ressemble au phénomène appelé « cristal

de glace » dans l'Arctique. Pendant les périodes où l'on observe de la neige, précise-t-il, cette dernière tombe sous forme de précipitation légère et constante de petits cristaux de glace.

Avant la mission Phoenix, les scientifiques se demandaient s'il y avait des précipitations de quelque nature que ce soit sur Mars, et ils ne savaient pas que des nuages s'y formaient à une altitude aussi basse. « Nous savions que la calotte glaciaire progressait aussi loin que le site d'atterrissage de Phoenix en hiver, a souligné M. Whiteway, mais nous ne savions pas comment la vapeur d'eau circulait entre l'atmosphère et le sol. »

Non seulement les scientifiques ont-ils trouvé de la neige sur Mars, mais la composition chimique du sol et les minéraux qu'ils ont examinés indiquent que Mars a récemment eu un climat plus chaud et humide, peut-être au cours des quelques derniers millions d'années. Des changements connus de l'orientation de Mars dans son orbite autour du Soleil signifient qu'on peut s'attendre à des périodes plus chaudes dans l'avenir, peut être assez chaudes pour permettre la présence d'eau sous forme liquide – une évolution

Nous savions que la calotte glaciaire progressait aussi loin que le site d'atterrissage de Phoenix en hiver, mais nous ne savions pas comment la vapeur d'eau circulait entre l'atmosphère et le sol.



Photo : NASA/Université de l'Arizona/ASC

radicale pour une planète où la température la plus élevée de l'été arctique était de -19,6 degrés Celsius (et la plus basse de -97,7 degrés Celsius).

La contribution du Canada à la mission Phoenix témoigne haut et fort de notre expertise et de notre longue histoire

de développement et de recherche dans le domaine spatial. Lorsque le président de l'Agence spatiale canadienne Steve MacLean travaillait à l'Université York, il y a une trentaine d'années, le chercheur qui travaillait dans le laboratoire voisin du sien était Allan Carswell. M. Carswell travaillait déjà à développer les premiers prototypes du système de sondage laser qui allait devenir l'instrument LIDAR de la mission Phoenix.

La présence d'instruments canadiens sur Mars – un première pour des technologies canadiennes sur la surface d'une autre planète – a permis de répondre à des questions scientifiques importantes. De plus, grâce aux instruments MET et LIDAR de la sonde Phoenix, nous savons beaucoup mieux à quoi peut ressembler un jour d'été typique au bord de la calotte polaire de Mars. Un jour, cette information s'avérera peut-être essentielle à la réussite et à la sécurité de missions habitées sur Mars.

L'Université York dirige l'équipe scientifique canadienne avec la participation de l'Université de l'Alberta, de l'Université Dalhousie, d'Optech et de Ressources naturelles Canada (Commission géologique du Canada), de l'Agence spatiale canadienne et la collaboration internationale de l'Institut météorologique de la Finlande. MDA Space Missions est l'entrepreneur principal de la

station, en partenariat avec Optech. Le capteur de vent installé sur le mât de la station météorologique a été fourni par l'Université Aarhus, avec l'appui de l'Université de l'Alberta.

La mission Phoenix est dirigée par le chercheur principal Peter H. Smith de l'Université de l'Arizona, avec l'appui d'une équipe scientifique de cochercheurs, une gestion de projet assurée par le Jet Propulsion Laboratory de la NASA et un partenariat de développement conclu avec Lockheed Martin Space Systems. Des contributions internationales ont été fournies par l'Agence spatiale canadienne, l'Université de Neuchatel (Suisse), les universités de Copenhague et Aarhus (Danemark), l'Institut Max Planck (Allemagne) et l'Institut météorologique de la Finlande.



LE CANADA ET L'OBSERVATOIRE SPATIAL HERSCHEL

L'Observatoire spatial Herschel, la quatrième et dernière pierre angulaire du programme scientifique spatial de l'Agence spatiale européenne (ESA), a été lancé le 14 mai 2009. Sa durée de vie prévue est de trois ans. Au cours de cette période, les scientifiques tenteront de répondre à d'importantes questions en astronomie : comment les galaxies se sont formées et ont évolué, ou encore, comment se forment les étoiles et les planètes aujourd'hui. Herschel observera des objets célestes froids (une bonne partie de l'Univers est trop froid pour émettre de la lumière dans le spectre visible) en saisissant le rayonnement émis dans le spectre.

Étant donné que l'eau est essentielle à la vie sur Terre, les scientifiques estiment depuis longtemps qu'elle devrait aussi être essentielle à la vie sur d'autres planètes, que ce soit dans notre système solaire ou ailleurs. Toutefois, jusqu'à récemment, personne n'avait encore trouvé le moyen de détecter et de quantifier avec précision les molécules d'eau dans l'espace.

Un tel instrument existe dorénavant et il s'agit d'un des éléments essentiels de l'Observatoire spatial Herschel. L'instrument hétérodyne pour l'observation dans l'infrarouge lointain (HIFI) est un spectromètre mis au

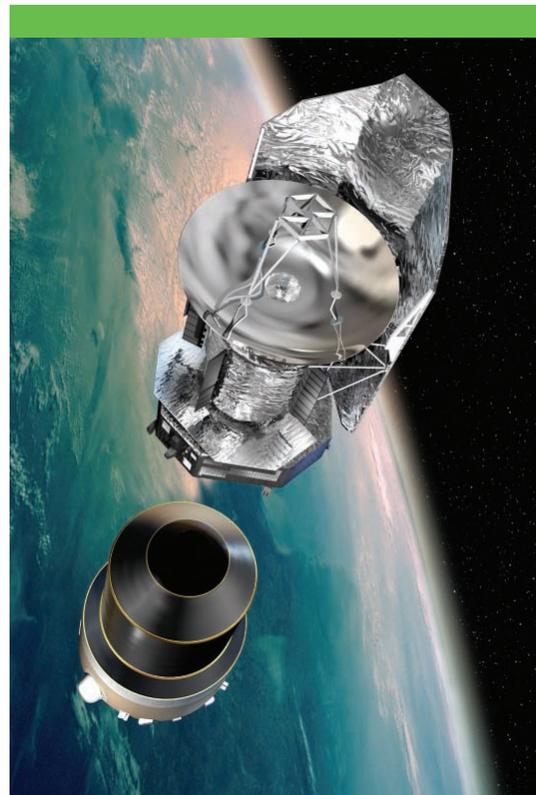


Illustration : ESA - D. Ducros, 2009

point avec l'aide d'une équipe de chercheurs de l'Université de Waterloo. HIFI est le premier instrument capable d'analyser la chimie de notre galaxie depuis l'espace avec assez de précision pour caractériser l'abondance d'eau et d'autres molécules dans le milieu interstellaire. Dans le cadre de cette mission, il cherche de l'eau dans différents environnements spatiaux, y compris des régions de formation des étoiles de masse intermédiaire.

Les scientifiques en savent beaucoup sur la formation d'étoiles de faible masse, comme notre Soleil, mais ils disposent de moins de renseignements sur la formation des étoiles de masse intermédiaire. Cependant, les scientifiques ont appris beaucoup de choses sur le processus de formation stellaire proprement dit. Grâce à l'instrument HIFI, ils pourront maintenant approfondir encore plus leurs connaissances dans ce domaine.

En examinant les régions où se forment les étoiles de masse intermédiaire les plus calmes, froides et jeunes, les membres de l'équipe de recherche canadienne ont récemment découvert la présence d'un gaz moléculaire extrêmement chaud. Selon les modèles créés avant la mission Herschel, la température des gaz les plus chauds de l'objet observé aurait dû être légèrement

inférieure à 400 °K, soit près du point d'ébullition de l'eau. En fait, le gaz de l'objet atteignait une température de 1500 °K, soit tout près du point où les molécules commencent à se décomposer.

L'objet que les scientifiques avaient sélectionné pour l'expérience menée avec l'instrument HIFI était une protoétoile qui se trouve dans une enveloppe – un nuage gazeux attiré dans la protoétoile sous l'effet de la gravité. Cette matière en accréation augmente la masse de la protoétoile jusqu'à ce que celle-ci soit capable de souffler l'enveloppe. La région la plus chaude d'une telle enveloppe, selon les prédictions des scientifiques, n'aurait dû être que de 400 °K; pour atteindre les 1500 °K, il faudrait un flux de matière extrêmement énergétique vers l'extérieur de l'objet produisant des chocs, ou une forte lumière ultraviolette. Jusqu'à ce que la sonde Herschel et l'instrument HIFI prouvent le contraire, les scientifiques croyaient qu'un objet aussi jeune qu'une protoétoile serait incapable d'atteindre des températures aussi extrêmes.

Le gaz au cœur de ces découvertes remarquables est composé essentiellement de monoxyde de carbone. Les membres de l'équipe canadienne se concentrent

depuis sur les gaz composés essentiellement d'eau, une tâche beaucoup plus difficile parce que l'eau est une molécule plus complexe qui produit un diagnostic plus précis. Les scientifiques peuvent seulement mesurer la température dans le cas du monoxyde de carbone, mais les observations sur l'eau sont effectuées à un pouvoir séparateur en vitesse beaucoup plus grand. Il est donc possible de mesurer d'autres éléments, comme la vitesse du flux de matière vers l'extérieur de l'objet.

Dirigés par Michel Fich, professeur en physique et en astronomie de l'Université de Waterloo, les scientifiques canadiens ont créé une unité source de l'oscillateur local pour l'instrument HIFI, semblable au syntoniseur d'un poste de radio, qui donne à l'instrument le signal de référence stable dont il a besoin pour fonctionner dans un environnement hostile. Cependant, contrairement à un poste de radio, l'oscillateur produit un signal d'une pureté et d'une stabilité exceptionnelles, plus encore que tout autre oscillateur jamais créé.

On a décrit l'oscillateur comme étant le cœur de l'instrument HIFI : il est léger mais robuste, puissant mais précis, et capable de fonctionner malgré les vibrations et les forces G. Cet appareil donne à

On a décrit
l'oscillateur comme
étant le cœur de
l'instrument HIFI :
il est léger mais
robuste, puissant
mais précis,
et capable de
fonctionner malgré
les vibrations et les
forces G.

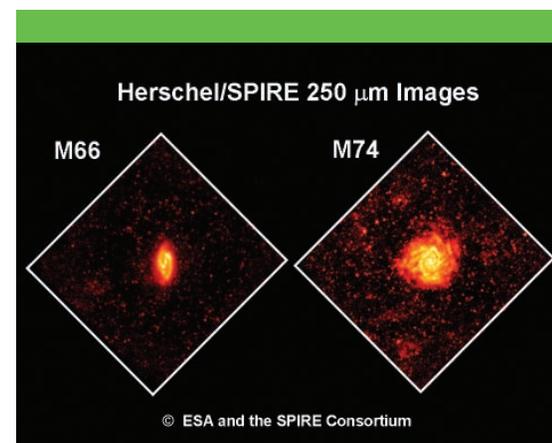
l'instrument HIFI sa capacité unique de détecter des molécules dans le spectre de l'infrarouge lointain, un rayonnement qui est presque entièrement bloqué par l'atmosphère de la Terre. C'est pourquoi les scientifiques sont plus près que jamais de pouvoir répondre à des questions séculaires : existe-t-il d'autres planètes semblables à la Terre ? Y a-t-il toujours eu de l'eau sur la Terre et, si non, d'où vient-elle ?

Cela dit, l'appareil qui rend possibles les capacités remarquables de l'instrument HIFI n'a pas été un succès instantané. En fait, les travaux sur l'oscillateur ont été entrepris en 1998. Quoi qu'il en soit, dit le professeur Fich, à force de persévérance, la collaboration multinationale a donné lieu à la création de Herschel et du tout premier observatoire astrochimique au monde.

HIFI est un des trois principaux instruments à bord de l'Observatoire spatial Herschel. Un deuxième instrument a aussi bénéficié d'une expertise canadienne indispensable : une équipe de chercheurs canadiens, dirigée par le professeur David Naylor du Département de physique et d'astronomie de l'Université de Lethbridge, a créé l'instrument SPIRE (Récepteur d'imagerie spectrale et photométrique). À l'aide d'une caméra infrarouge et d'un

spectromètre imageur, SPIRE peut voir une grande région du ciel d'un seul coup. Une équipe de programmeurs de la société Blue Sky Spectroscopy, en coopération avec le professeur Naylor, mène le développement du logiciel d'analyse des données pour le spectromètre imageur à transformée de Fourier (STF) de l'instrument SPIRE. Ce logiciel canadien sera essentiel pour générer des produits de données scientifiques de grande qualité à l'aide de cet instrument novateur.

Au cours de l'été 2009, l'instrument SPIRE a fait ses premières observations de deux galaxies à proximité de la Voie lactée où des étoiles sont en formation. Le 24 juin, grâce à sa conception permettant de trouver les émissions de nuages de poussière associés à des régions de formation stellaire dans la Voie lactée et d'autres galaxies, SPIRE a imagé deux galaxies appelées M66 et M74. M66 est une galaxie spirale barrée – une galaxie dotée d'un centre en forme de barre, comme notre Voie lactée – située à environ 35 millions d'années-lumière de la Terre, dans la constellation du Lion. M74 est une galaxie spirale, que l'on voit de face, dotée de bras en spirale bien définis et située à environ 30 millions d'années-lumière de la Terre, dans la constellation du Poisson.



Le spectromètre SPIRE, grâce à sa cartographie et sa couverture spectrale instantanées, a détecté un vaste éventail de molécules, d'atomes et d'ions – y compris de l'eau – non seulement dans notre galaxie, mais aussi dans des galaxies voisines de la nôtre. Une des découvertes fascinantes qu'a effectuées SPIRE est la détection d'une galaxie lenticulaire fortement décalée vers le rouge en mesurant la ligne du carbone ionisé décalé vers le rouge

à 158 microns. Le professeur Naylor est un des trois co-inventeurs du spectromètre SPIRE, qui est basé sur un système qu'il avait utilisé aux installations du télescope James Clerk Maxwell à Hawaïi.

En échange de ses importantes contributions à l'instrument HIFI, au spectromètre SPIRE et au projet Herschel, le Canada a pu nommer neuf scientifiques au sein de l'équipe scientifique de l'observatoire. On leur a garanti un accès au temps d'observation nécessaire pour mener leurs recherches. De plus, la présence de l'instrument HIFI à bord de Herschel permettra à un consortium d'astronomes canadiens de participer à un projet scientifique clé visant à étudier l'eau dans les régions de formation stellaire.

Le professeur Michel Fich de l'Université de Waterloo est le chercheur principal de l'instrument HIFI au Canada. COM DEV, de Cambridge en Ontario, est l'entrepreneur principal chargé de la contribution canadienne à HIFI. Le professeur David Naylor de l'Université de Lethbridge agit à titre de chercheur principal de la contribution canadienne à SPIRE. L'entreprise Blue Sky Spectroscopy, de Lethbridge en Alberta, abrite le centre d'expertise du récepteur d'imagerie spectrale et SPIRE. L'équipe canadienne Herschel se compose de chercheurs des universités de la Colombie-Britannique, de Calgary, Western Ontario, de Toronto, de Victoria et McMaster ainsi que du Conseil national de recherches du Canada.

Agence spatiale canadienne
6767, Route de l'Aéroport
Saint-Hubert, Québec J3Y 8Y9
Canada

www.asc-csa.gc.ca