

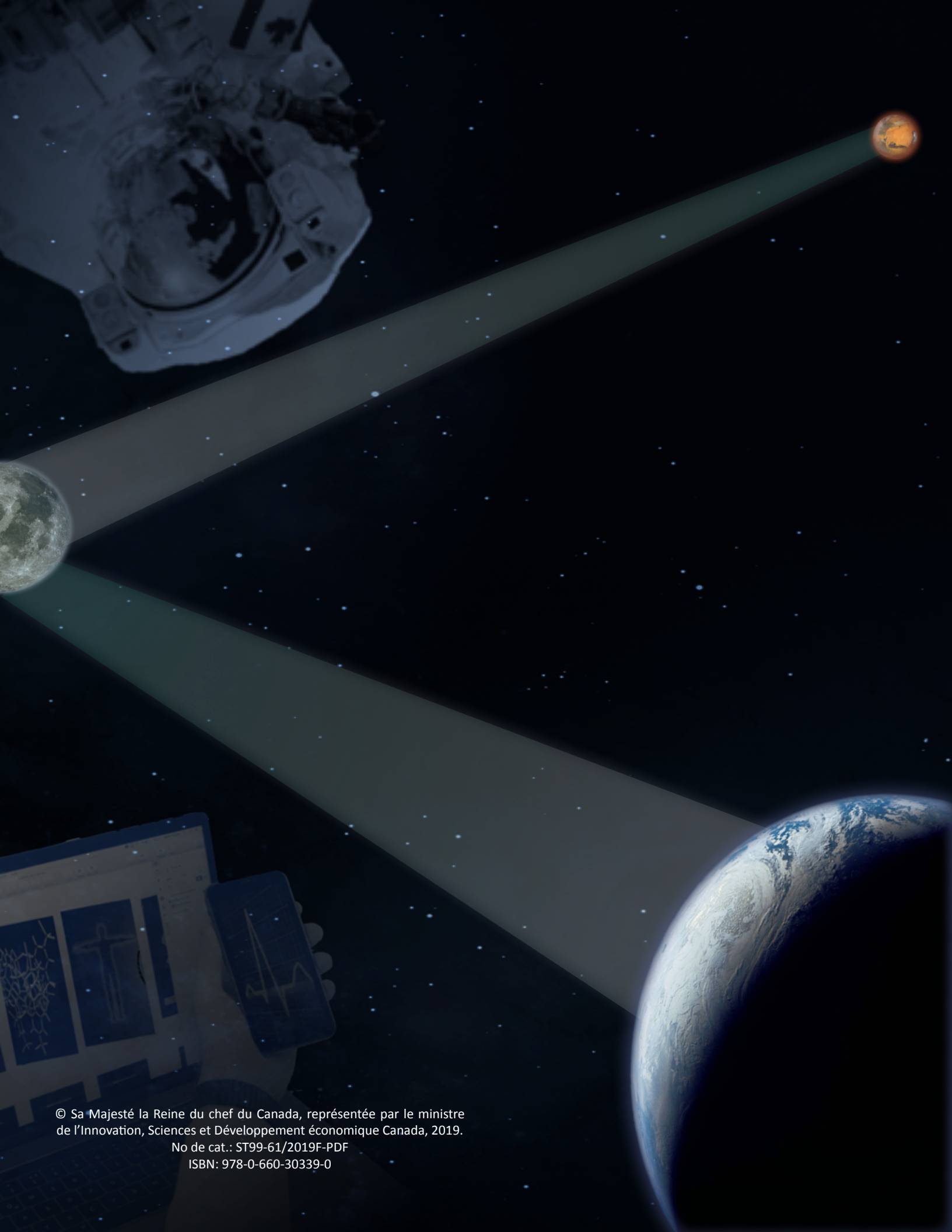


Soins de santé canadiens dans l'espace lointain:

le Canada comme chef de file
en soins autonomes dans
l'espace et sur Terre

Rapport du groupe d'experts
sur les rôles possibles que
pourrait jouer le Canada en
matière de santé et d'activités
biomédicales pour les vols
habités dans l'espace lointain

Mars 2019



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de l'Innovation, Sciences et Développement économique Canada, 2019.

No de cat.: ST99-61/2019F-PDF

ISBN: 978-0-660-30339-0



Le 9 février 2018

Monsieur Sylvain Laporte
Président de l'Agence spatiale canadienne
Saint-Hubert (Québec)

Monsieur le Président,

Vous trouverez ci-joint le *Rapport du groupe d'experts sur les rôles potentiels que pourrait jouer le Canada en matière de santé et d'activités biomédicales dans le cadre des vols habités dans l'espace lointain*. Ce rapport est le fruit de nos consultations avec plusieurs acteurs de premier plan dans le domaine des vols spatiaux et des soins de santé au Canada, ainsi que de nos propres échanges et délibérations.

Nous avons été honorés par le fait que l'Agence spatiale canadienne nous ait demandé d'étudier les possibilité d'un nouveau rôle et d'une nouvelle orientation pour le Canada en matière d'exploration de l'espace lointain – une réorientation stratégique qui pourrait apporter un vent de dynamisme et des bénéfices pour la société pour les décennies à venir. Notre rapport vise à présenter en quoi consistent les soins de santé aux astronautes lors de missions d'exploration de l'espace lointain ainsi que l'origine de ces besoins, mais non la manière de procéder, ce sur quoi il faudrait se pencher plus tard.

Nous vous sommes reconnaissants de l'appui que vous nous avez offert tout au long de notre mandat. Votre vision du programme spatial canadien ne fait aucun doute à nos yeux. Nous espérons d'ailleurs qu'une volonté d'exploration galvanisera les Canadiens et Canadiennes et que de nouveaux partenariats, investissements et défis contribueront à propulser notre programme spatial national vers de nouveaux sommets.

Nous espérons que ce rapport vous apportera, à vous et à vos collègues, un éclairage utile dans le cadre de vos discussions et de vos décisions sur les rôles et les partenariats relatifs à l'exploration de l'espace lointain.

Robert Thirsk (Chair)

David Hart

Alex Mihailidis

Evan Adams

Yves Joanette

Anne Snowdon

Mark Casselman

Brian Lewis

Teodor Veres

Jacques Corbeil

Linda Maxwell

Dave Williams

Diane Côté

Ivar Mendez

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire exécutif	iii
Liste des recommandations	iv
Partie 1:	
Feuille de route en matière d'exploration spatiale	1
Partie 2:	
Questions relatives à la santé et au rendement de l'équipage en mission dans l'espace lointain	4
Partie 3:	
Forces du Canada en matière de soins de santé et de rendement	10
Partie 4:	
Mesures socio-économiques à privilégier	17
Partie 5:	
Recommandations au Président	22
Partie 6:	
Conclusion	35
Appendices	42



Epic Rise, huile sur toile [source: Murray Kimber]

Sommaire exécutif

Le Canada est mondialement reconnu comme un acteur important sur la scène spatiale, jouissant d'un savoir-faire et de capacités liés aux sciences et technologies spatiales, ainsi qu'en exploration humaine de l'espace. En plus des cinq milliards de dollars engendrés par le secteur spatial canadien en activité économique, le Canadarm et la présence humaine à bord de la Station spatiale internationale (SSI) sont devenus des emblèmes et une source de fierté pour l'ensemble des Canadiens.

Après un demi-siècle d'exploration humaine en orbite autour de la Terre, les partenaires internationaux reconnaissent tous la nécessité d'aller encore plus loin. Les technologies requises pour appuyer les missions d'exploration habitées de longue durée à la surface de la Lune ou de Mars seront essentielles aux 50 prochaines années d'exploration spatiale.

L'Agence spatiale canadienne est dans une position idéale pour capitaliser sur les technologies et de l'expertise canadienne issues du développement des systèmes robotiques élaborés dans le cadre des programmes de la navette spatiale et de la SSI, notamment en intégrant les résultats des travaux de recherche en microgravité de longue durée avec l'expertise clinique acquise, afin de concevoir une nouvelle contribution aux vols spatiaux habités, soit un système médical avancé et autonome pour les membres d'équipage. En participant

à l'exploitation de la SSI et à la réalisation de travaux de recherche connexes, des scientifiques, cliniciens et spécialistes canadiens en médecine spatiale ont fait la démonstration de certains soins cliniques virtuels, notamment la chirurgie à distance minimalement invasive. Ce savoir-faire et ces technologies constituent l'assise d'une solide capacité en soins virtuels. En plus d'appuyer directement l'exploration humaine de l'espace, ils contribueront à améliorer les opérations militaires canadiennes et à transformer la prestation des soins de santé à distance et les soins aux personnes âgées. Bien que les avantages d'une telle initiative soient nombreux pour la population canadienne, l'accroissement du leadership du Canada dans le domaine de la médecine spatiale représente la prochaine étape à franchir pour que notre pays consolide sa place parmi les grandes puissances spatiales.

Notre recommandation générale se formule ainsi : l'Agence spatiale canadienne devrait assumer un rôle de chef de file dans le domaine des soins de santé pour astronautes dans l'espace lointain en collaboration avec un consortium de partenaires, avant la tenue des missions d'exploration de Mars, le tout conformément à une vision stratégique assortie d'objectifs clairs et d'un calendrier ambitieux. Ceci représenterait une occasion unique pour le Canada et permettrait à notre pays de devenir un chef de file mondial dans ce créneau.

Recommandations

1.



Le Canada devrait investir de manière significative dans les soins de santé autonomes pour les missions spatiales dans l'espace lointain, et ce afin d'offrir une contribution audacieuse pour l'exploration spatiale et de développer l'expertise canadienne en soins de santé virtuels au profit de tous les Canadiens.

2.



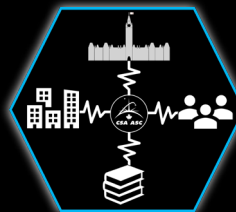
Le Canada devrait jouer le rôle d'intégrateur et de responsable principal des soins de santé aux astronautes dans le cadre des missions dans l'espace lointain.

3.



En plus de la surveillance opérationnelle, le Canada devrait fournir des technologies médicales aux unités de soins de santé utilisées dans l'espace lointain, selon son expertise nationale.

4.



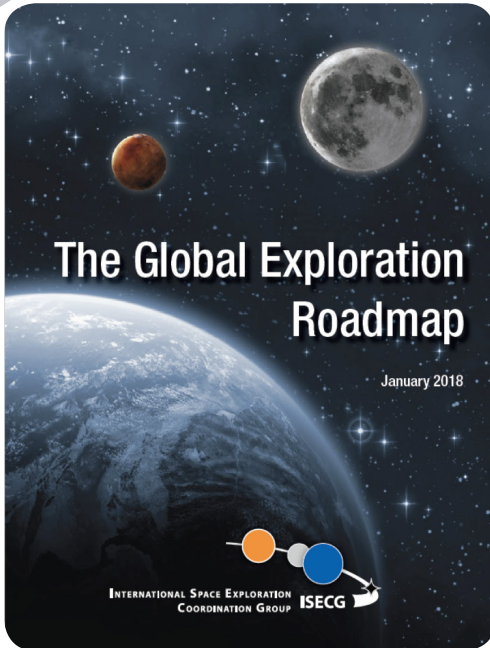
Afin d'appuyer l'Agence spatiale canadienne dans le développement et la mise en œuvre de cette initiative potentielle, il incomberait de mettre sur pied un organisme de collaboration multidisciplinaire représentant l'expertise du Canada dans les créneaux liés aux opérations spatiales et à la prestation de services en santé, et alliant des compétences aux niveaux commercial, de la recherche et du gouvernement.



La lune vue depuis la station spatiale internationale [source: NASA/A. Gerst, 2018]

PARTIE 1

FEUILLE DE ROUTE EN MATIÈRE D'EXPLORATION



La troisième édition du document [Global Exploration Roadmap](#) (Feuille de route mondiale de l'exploration) réaffirme l'intérêt de 14 agences spatiales à accroître la présence humaine dans le système solaire, la surface de Mars étant l'objectif principal commun. Le projet commence par la construction et le développement du Gateway, une passerelle vers l'espace lointain à proximité de la Lune. La Feuille de route est conçue pour informer les pays, les entreprises et les universités et centres de recherche lorsqu'ils décident d'investir dans ce projet.

Nous entrons dans une nouvelle ère d'exploration spatiale avec l'objectif ambitieux d'aller au-delà de la basse orbite terrestre et de la Station spatiale internationale pour retourner sur la Lune et explorer Mars. Ces projets audacieux nécessitent une collaboration et de nouvelles technologies qui pourraient transformer notre société et notre économie.

En 2007, la communauté internationale de l'exploration spatiale a convenu d'une vision misant sur la collaboration internationale et axée sur les destinations du système solaire où l'on pourrait un jour vivre et travailler. Dans cette vision, l'envoi d'humains sur la Lune, vers les astéroïdes proches de la Terre et sur Mars est précédé par l'envoi de missions robotiques afin de lever le voile sur les secrets qui entourent ces destinations, les caractéristiques de leur environnement, les ressources qui s'y trouvent et les risques potentiels. Le Groupe international de coordination de l'exploration spatiale, composé de 15 agences spatiales nationales, a été créé en vue d'élaborer une stratégie visant à concrétiser cette vision. Appelée Global Exploration Roadmap (Feuille de route mondiale de l'exploration), cette stratégie n'impose pas d'étapes ou d'activités propres à chaque agence. Elle incite plutôt à trouver des idées et des solutions novatrices qui permettront de relever les défis de demain.



Station spatiale internationale [source: NASA, 2018]

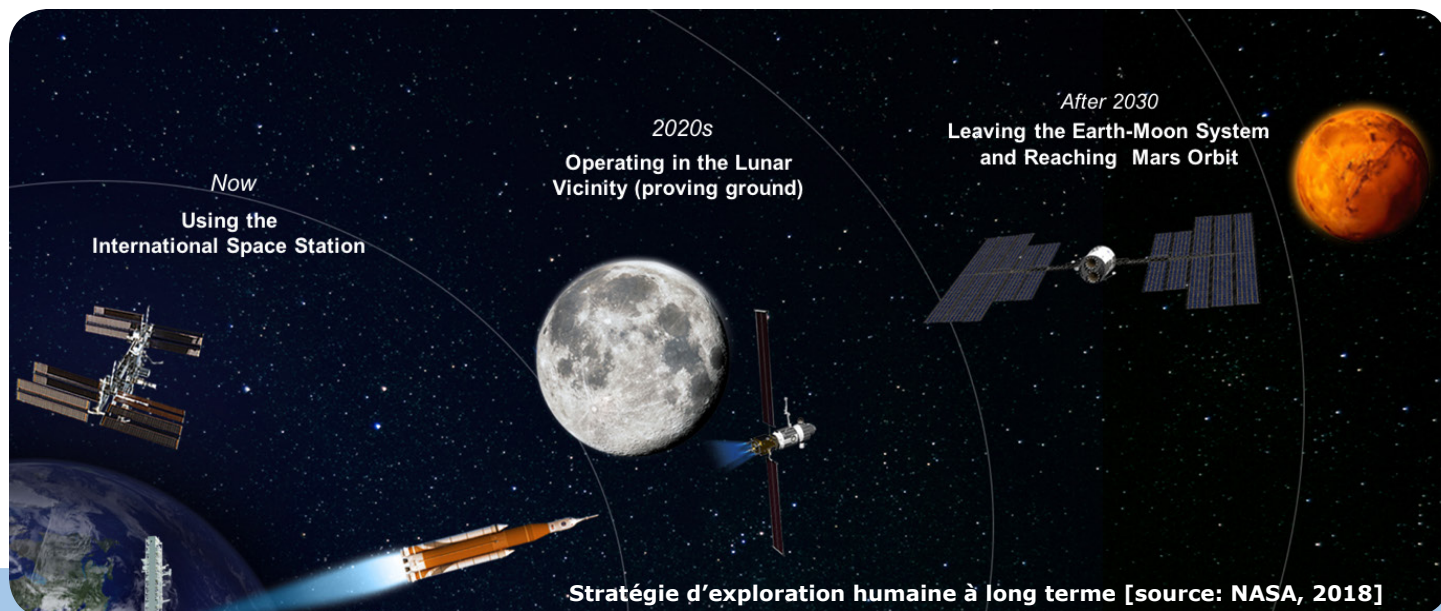
Explorer l'espace en partenariat

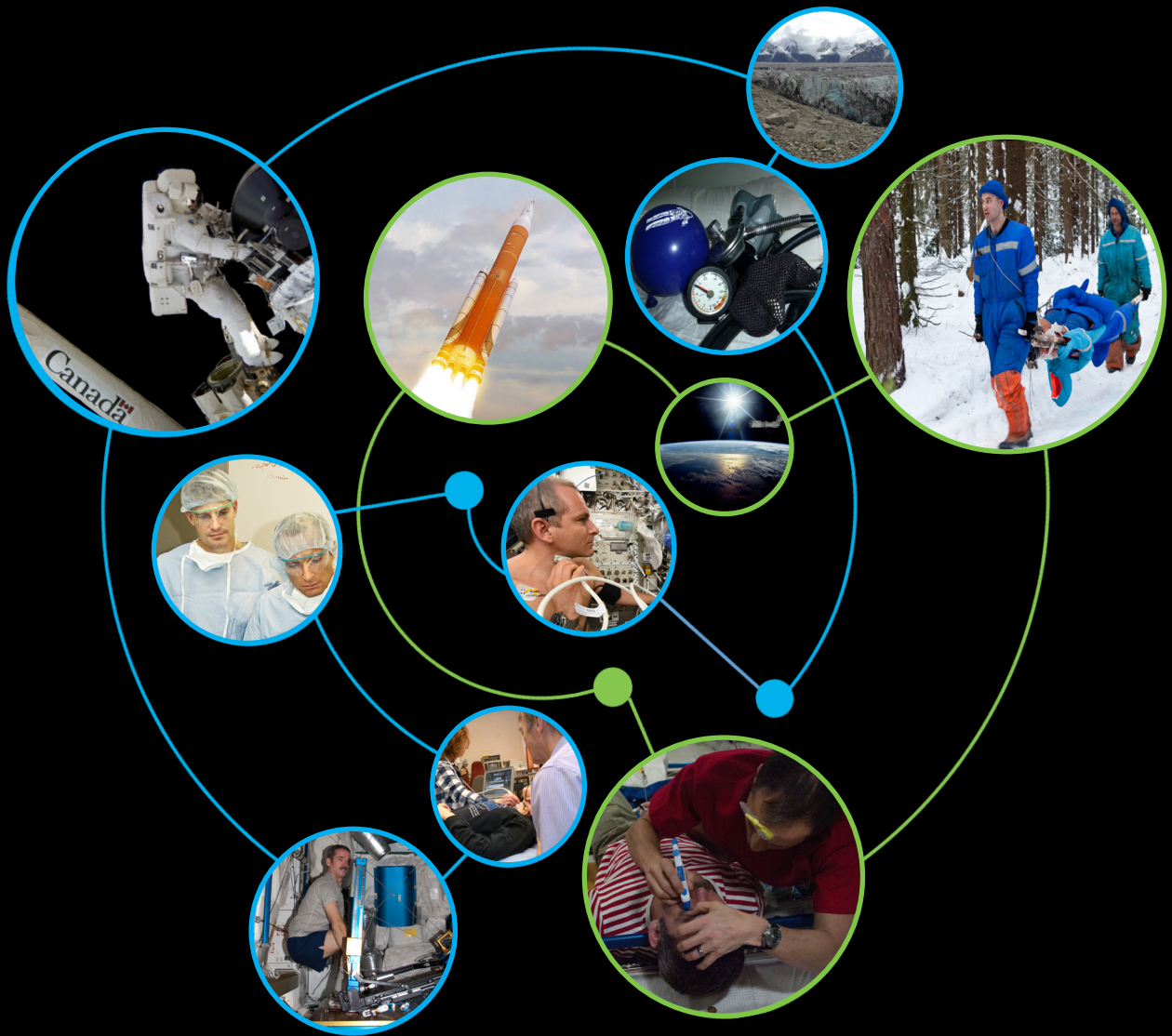
Le Canada, en tant que partenaire de la SSI, a entrepris d'importantes discussions dans le cadre de ce partenariat mondial afin de déterminer les prochaines étapes de l'exploration humaine. En se servant de la feuille de route comme guide, les partenaires œuvrent dans l'optique d'envoyer des humains explorer Mars dans les années 2030. Même en disposant d'une décennie pour se préparer, les défis associés à une telle mission sont immenses. Un aller-retour vers Mars prend presque trois ans. Pendant ce temps, l'équipage et le véhicule spatial doivent composer avec peu ou pas de ravitaillement en oxygène, en eau, en nourriture, en fournitures médicales et en pièces de rechange. Les astronautes subiront les effets néfastes de l'apesanteur et des radiations cosmiques pendant des périodes d'une longueur inédite. Les communications limitées et les délais imposés par la vitesse de la lumière réduiront considérablement la contribution du centre de contrôle de la mission au bon déroulement de l'expédition. Il sera impossible par exemple d'annuler une mission et de revenir sur Terre avant le moment prévu en cas d'une défaillance de systèmes ou de maladie.

En tenant compte des besoins associés

aux missions sur la Lune et sur Mars, les partenaires internationaux ont étudié divers concepts de mise à l'essai et de démonstration de technologies d'exploration de l'espace lointain dans l'environnement cislunaire, soit la zone de l'espace lointain sous l'influence gravitationnelle de la Terre et de la Lune. La première étape consiste à mettre au point et à déployer le Gateway (ou passerelle lunaire), un port spatial en orbite autour de la Lune qui comprendra un espace de travail, une capacité de propulsion et un système de survie, et qui pourra subvenir aux besoins d'un équipage de quatre personnes pendant un maximum de 30 jours. Le Gateway servira à effectuer des essais techniques et opérationnels, ainsi que de la recherche scientifique qui permettront d'effectuer des missions sur la surface lunaire et, à terme, vers Mars.

Les étapes suivantes consisteront à établir une présence humaine soutenue sur la surface lunaire et à déployer une solution de transport pour l'espace lointain afin d'atteindre la surface de Mars. Pendant ces voyages, le Gateway restera en orbite cislunaire, servant de plateforme de recherche et de base d'appui pour voyager vers ces destinations.





PARTIE 2

**QUESTIONS RELATIVES À LA
SANTÉ ET AU RENDEMENT
DE L'ÉQUIPAGE EN MISSION
DANS L'ESPACE LOINTAIN**



L'astronaute de l'ASC Robert Thirsk s'entraîne sur l'appareil d'exercice contre résistance ARED (Advanced Resistive Exercise Device) [source: NASA, 2009]

Depuis l'avènement des vols spatiaux, quelque 600 personnes ont eu la chance de franchir cette nouvelle frontière afin d'y vivre et d'y travailler pendant un certain temps. L'exploration de l'espace a toutefois un prix. Les astronautes doivent en effet composer avec des conditions difficiles, notamment :

- des vitesses et des accélérations élevées;
- le vide spatial à l'extérieur du véhicule ou de l'habitat;
- des températures extrêmes à la surface du véhicule spatial;
- des taux de radiations intenses;
- des rythmes circadiens perturbés;
- l'apesanteur.

Ces facteurs, et plusieurs autres, peuvent altérer le fonctionnement de l'organisme et mettre en péril la santé des astronautes. Aucun organe n'est d'une manière ou d'une autre, épargné par les conditions propres aux vols spatiaux, lesquels peuvent entraîner notamment un déconditionnement cardiovasculaire, une atrophie musculo-squelettique, le mal de décompression et des maladies causées par

l'exposition prolongée aux radiations. Peuvent également s'ensuivre des troubles psychologiques et sociaux qui peuvent entraîner des difficultés dans l'exécution du travail de l'équipage. Dans le pire des scénarios, le succès des missions pourrait considérablement être compromis.

Au cours des dernières décennies, des spécialistes de la médecine spatiale ont étudié les conséquences des vols spatiaux sur la santé. Leurs objectifs étaient triples : optimiser la santé et la condition physique des astronautes avant leur vol, fournir des soins pendant le vol pour que l'équipage demeure en bonne santé et apte à effectuer son travail, et encadrer les astronautes dans leur réadaptation à la vie sur Terre après leur vol. Des pas de géant ont été accomplis dans ce domaine. Au cours des cinquante premières années de vols spatiaux, les cliniciens et ingénieurs biomédicaux ont réussi à mettre au point des traitements pour la majorité des troubles médicaux observés dans l'espace.

Les soins prodigués au cours des vols antérieurs l'ont été principalement depuis la Terre alors qu'une équipe médicale présente au sol surveillait la santé des astronautes en orbite. Les troubles prévisibles et courants



L'astronaute de l'ASC David Saint-Jacques prélève des échantillons de sang [source: NASA, 2018]

faisaient l'objet d'un diagnostic et d'un traitement par des médecins membres de l'équipage. S'il survenait des situations complexes ou urgentes qu'il était impossible de résoudre dans l'espace, un médecin de vol gérait la situation depuis la Terre jusqu'à ce que le membre d'équipage malade puisse être ramené sur Terre pour se faire soigner. Les efforts de stabilisation de l'état du malade et de son retour sur la planète étaient rendus possibles par des échanges réguliers en temps réel entre l'équipe médicale sur Terre et l'équipage, incluant la transmission électronique des données de santé.

Bien qu'efficace, cette façon de faire a toutefois ses limites lorsque les astronautes s'aventurent au-delà de l'orbite terrestre. Dans un avenir rapproché, les missions d'exploration habitées viseront des astéroïdes, des points de Lagrange (lieu dans une configuration orbitale entre deux corps célestes imposants où un petit objet maintient sa position par rapport aux deux corps plus grands), la Lune, Mars et même au-delà. Ces missions dans l'espace lointain différeront de celles qui se déroulent en basse orbite: elles parcourront des distances beaucoup plus longues et dureront plus longtemps. Une mission aller-retour vers Mars prendrait en effet deux ans et demi, alors que celles à bord de la Station spatiale internationale ne durent aujourd'hui généralement que six mois. Les futurs astronautes devront également s'acclimater à des environnements à gravité partielle lorsqu'ils se poseront sur la surface d'une autre planète ou d'un autre satellite naturel. Cette nouvelle catégorie de missions comprendra d'autres caractéristiques opérationnelles, dont les suivantes :

- taille limitée de l'équipage;
- volume, masse et puissance limités des équipements et des systèmes embarqués;
- délais au niveau des communications avec une latence pouvant aller jusqu'à 20 minutes pour la transmission des signaux vocaux et des données entre la Terre et l'espace lointain;
- exposition à des niveaux élevés de radiations au-delà des ceintures Van Allen de la Terre;
- consommation d'aliments transformés à longue durée de conservation au lieu de fruits et de légumes frais;
- bruit ambiant élevé et continu généré par l'équipement à bord.

Les missions dans l'espace lointain exposeront davantage les astronautes à divers facteurs de stress psychologique :

- hétérogénéité de l'équipage (nationalités, cultures, ethnies, races et compétences différentes);
- isolement et confinement extrêmes;
- problèmes liés à la vie privée et à l'habitabilité;
- relations difficiles avec la famille et les amis éloignés;
- interactions complexes avec les équipes de soutien au sol.



Les astronautes de la mission STS-118 [source: NASA, 2007]



Les ingénieurs en vols spatiaux en sont à réétudier les concepts opérationnels liés à la logistique, au maintien des fonctions vitales, aux soins de santé et au rendement des membres de l'équipage participant à des missions spatiales dans l'espace lointain. Par exemple, les équipages doivent être moins dépendants des réapprovisionnements. Compte tenu de leur éloignement de la Terre, le ravitaillement du véhicule spatial ou de son habitat en eau, en oxygène, en nourriture, en vêtements ou en pièces de rechange sera limité, voire impossible.

Tous les systèmes du véhicule spatial devront fonctionner de manière autonome et nécessiter peu de surveillance et de gestion de la part des contrôleurs de vol au sol. Les systèmes de survie, notamment la régénération de l'oxygène dans l'habitable, la récupération des eaux usées et la collecte et le traitement des déchets humains, devront fonctionner en boucle quasi fermée

et surpasser en qualité et en fiabilité ceux des véhicules actuels. Les futurs habitats pourraient également être dotés de modules horticoles qui s'ajouteront en complément aux systèmes de survie et fourniront des aliments frais.

La surveillance de l'environnement à l'intérieur de l'habitat, par exemple de l'atmosphère dans la cabine, de la qualité de l'eau et des niveaux sonores, ne se fera plus par l'envoi d'échantillons d'air et d'eau au sol aux fins d'analyse. Les membres de l'équipage devront plutôt effectuer une analyse à bord et suivre dans cette optique une formation pour identifier les contaminants d'origine microbienne.

Dans l'espace, les opérations médicales devront se faire avec un soutien limité de la Terre, car il sera impossible de consulter et de faire intervenir en temps réel les médecins de vol sur Terre. Au moins un membre de l'équipage devra être un médecin chevronné possédant des qualifications en médecine spatiale et en médecine d'urgence. Il pourrait arriver qu'au cours d'une longue mission, une intervention chirurgicale soit nécessaire. Par le passé, des membres d'équipages dans des situations analogues, comme des stations de recherche en Antarctique et à bord de sous marins, ont été victimes d'accidents vasculaires cérébraux, d'appendicite, de fractures osseuses, de cancer, d'hémorragies intracérébrales, de troubles psychiatriques et de calculs rénaux. Ainsi, le médecin-astronaute devra être en mesure de pratiquer des chirurgies minimalement invasives et, au besoin, d'utiliser un système robotisé pour le support médical. De plus, lors des longs vols spatiaux, la formation continue sera nécessaire afin d'assurer que l'astronaute médecin n'oublie pas les notions acquises en matière de soins médicaux d'urgence.



L'astronaute de l'ASC Chris Hadfield présente les détecteurs de neutrons à bulles dans le cadre de l'expérience canadienne de mesure des radiations Radi-N2 [source: NASA, 2013]



La serre Future Exploration Greenhouse est située dans une base de recherche en Antarctique. L'Université de Guelph et d'autres partenaires internationaux utilisent cette installation d'essai pour développer des technologies de culture de plantes destinées à l'espace. [source: DLR, 2017]



Trousse de premiers soins de la Station spatiale internationale [source: NASA, 2011]

Les systèmes qui fourniront des soins de santé seront plus intelligents que l'équipement utilisé lors des missions actuelles. L'information numérique en réseaux émanant de capteurs portés par l'équipage, de systèmes d'aide à la décision clinique et de l'intelligence artificielle, servira d'aide au diagnostic et au traitement des maladies par les médecins d'équipage.

L'infrastructure médicale occupera un volume limité à bord de l'habitat. Les médecins-astronautes utilisent des trousse médicales compactes dotées d'un éventail complet d'équipement pour les opérations, la réanimation et les soins ambulatoires. Entre autres, ces trousse doivent contenir des antibiotiques, des antihistaminiques, des analgésiques, des stimulants, des médicaments pour le système cardiovasculaire et des médicaments contre le mal des transports, l'anxiété, la dépression, la perte osseuse et la protection contre l'effet des radiations. Cet inventaire médical sera bonifié par des instruments et des produits pharmaceutiques imprimés en trois dimensions, selon les besoins. Il ne sera pas possible de faire revenir sur Terre un membre d'équipage gravement malade. Cette installation médicale devra donc fournir des soins complets pour toutes les éventualités.

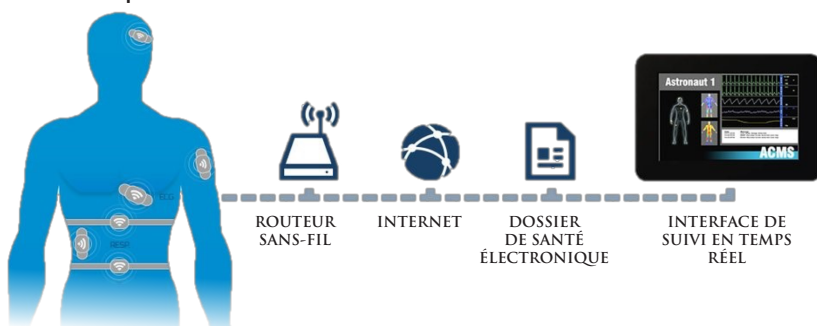
Les appareils d'exercice visant à réduire le plus possible le déconditionnement cardiovasculaire et musculo-squelettique seront, par nécessité, plus petits que ceux actuellement utilisés à bord de la Station spatiale internationale. Des matériaux à faible poids atomique, comme le polyéthylène, seront intégrés à la structure de l'engin spatial pour protéger l'équipage contre les radiations cosmiques. Le véhicule spatial aura également un endroit sûr pour protéger l'équipage contre les fortes radiations lors d'une éruption solaire majeure ou d'un épisode de particules solaires.



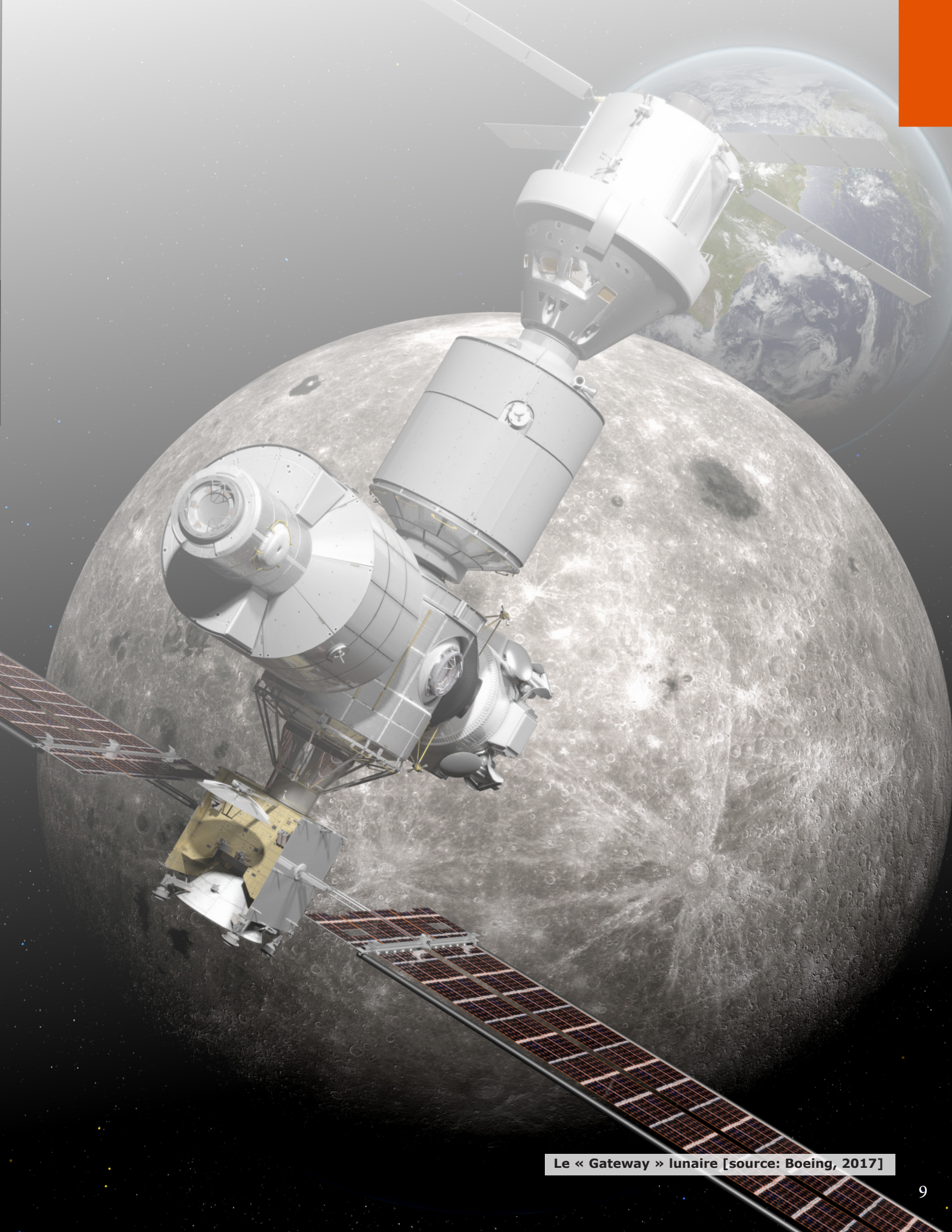
L'astronaute de l'Agence spatiale canadienne David Saint-Jacques met le biomonitor - un maillot intelligent servira à mesurer et à enregistrer les signes vitaux [source: ASC/NASA, 2019]

Ces approches complètement différentes en matière de prestation de soins médicaux complexes dans l'espace, jumelées au fonctionnement du véhicule ou de l'habitat spatial comme tel, devront être validées avant la première mission d'exploration sur Mars. La pratique de la médecine clinique sur Terre est elle aussi en pleine évolution et se rapproche d'un modèle davantage centré sur le patient et axé sur le point d'intervention, semblable à ce qui est envisagé pour la prestation de soins aux astronautes dans l'espace lointain. Ainsi, ce nouveau modèle autonome pourrait être évalué par des praticiens de la santé travaillant dans des collectivités nordiques sur Terre et par des patients en soins gériatriques à domicile suivis à distance.

La proximité de la Lune (à seulement trois jours de distance) représente un endroit relativement sûr pour évaluer les répercussions à long terme de l'espace sur la santé et le milieu de vie humains. D'ici dix ans, le Gateway sera assemblée et servira de portail vers la Lune. Ce banc d'essai permettra d'évaluer et de perfectionner des protocoles, des technologies et des systèmes médicaux destinés à être appliqués dans l'espace lointain. Les membres d'équipage auront ainsi l'occasion d'acquérir les connaissances, les compétences et la confiance nécessaires afin de subvenir à leurs besoins médicaux en complète autonomie.



Capteurs corporels sans fil pour soins médicaux dans l'espace [source: Carré Technologies, 2015]



Le « Gateway » lunaire [source: Boeing, 2017]



PARTIE 3

FORCES DU CANADA EN MATIÈRE DE SOINS DE SANTÉ ET DE RENDEMENT

La recherche évolue à un rythme effréné dans le domaine des soins de santé, et ce, partout dans le monde. En comprenant bien les capacités du Canada dans cet environnement mondial dynamique, nous serons mieux à même d'établir le rôle clinique potentiel du Canada dans l'exploration de l'espace lointain.

Compétences et talents en recherche

Le Canada compte certaines des meilleures universités au monde et bénéficie ainsi d'un vaste bassin de personnes compétentes et talentueuses en recherche. Le Canada se classe en outre au premier rang des pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) en ce qui concerne le pourcentage de sa population détenant un diplôme postsecondaire.

Le classement 2017 de l'Université nationale de Taïwan, qui met l'accent sur les universités fortement axées sur la recherche à l'échelle internationale, place l'Université de Toronto au quatrième rang pour ce qui est de la productivité, du rayonnement et de l'excellence en recherche. Elle suit les universités Harvard, Johns-Hopkins et Stanford, et se classe devant l'Université d'Oxford. L'Université de Toronto se hisse au premier rang mondial des universités publiques. Deux autres universités canadiennes ont été classées par l'Université nationale de Taïwan parmi les 50 premières, soit l'Université de la Colombie-Britannique (27^e) et l'Université McGill (36^e).

L'Université de Toronto se classe au troisième rang mondial en médecine clinique. Ce succès repose sur l'ampleur et la portée des travaux de recherche menés à la Faculté de médecine, qui représentent plus de la moitié du financement total en recherche de l'université. Trois autres facultés de médecine canadiennes se sont classées parmi les 50 meilleures du classement de l'Université nationale de Taïwan, soit

l'Université de la Colombie Britannique (33^e), l'Université McGill (39^e) et l'Université McMaster (46^e).

Recherche en santé et leadership clinique

Le Conseil des académies canadiennes (CAC) évalue périodiquement l'état de la recherche et du développement dans les domaines des sciences et technologies au Canada, ainsi que la recherche et développement en milieu industriel (mené par les entreprises, par exemple). Selon le rapport 2018 du CAC, intitulé *Rivaliser dans une économie mondiale axée sur l'innovation*, le Canada se classe :

- 9^e pour la production totale de publications de recherche, avec 3,8 % de la production mondiale;
- 6^e au chapitre du rayonnement de la recherche;
- 6^e pour le nombre de fois où il figure dans le 1 % des articles les plus cités, tous domaines confondus.

Les contributions du Canada à la recherche jouissent d'une réputation enviable à l'échelle internationale :

- 36 % des chercheurs interrogés qui font partie des plus cités au monde reconnaissent le Canada comme l'un des cinq principaux pays pour leur domaine de compétence;



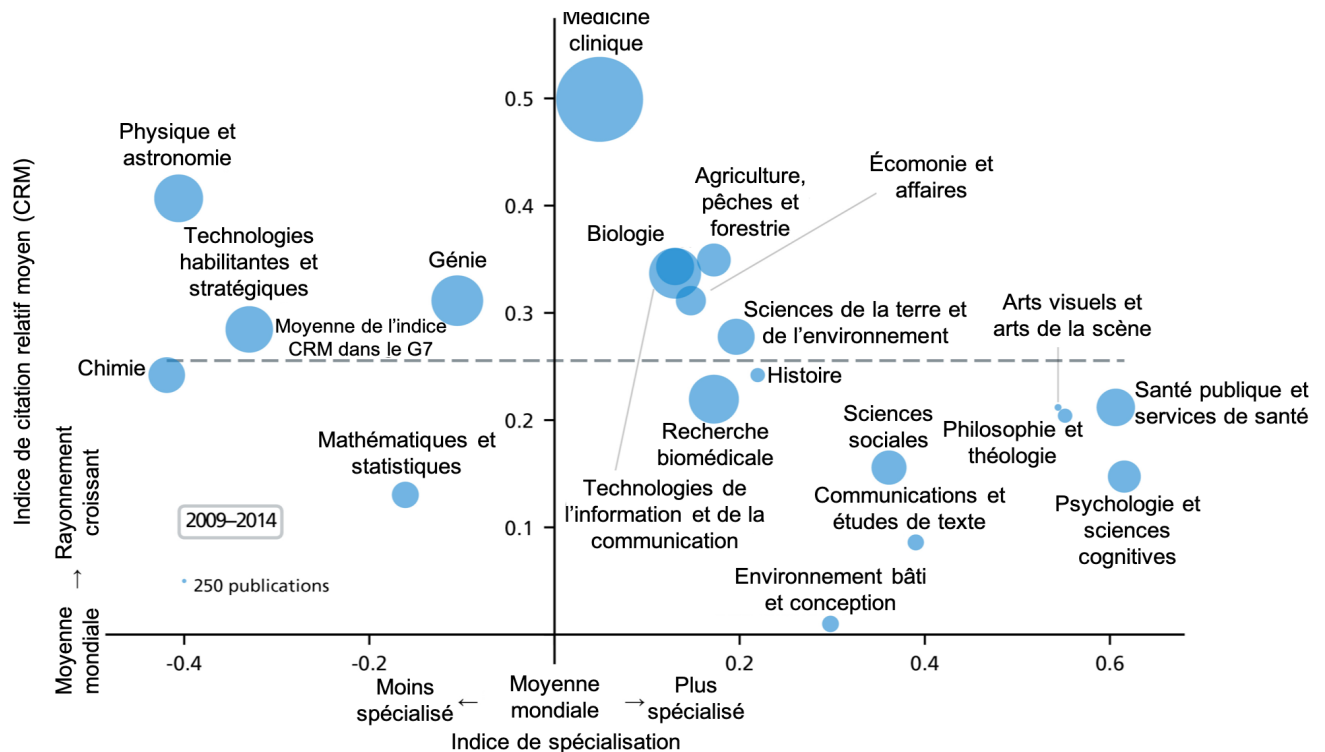
Des étudiants de l'Université de l'Alberta fabriquent le CubeSat Ex-Alt 1 [source: Collin Cupido, Université de l'Alberta, 2016]

- le Canada se classe au quatrième rang mondial, derrière les États-Unis, le Royaume-Uni et l'Allemagne, pour ce qui est de sa réputation et de sa respectabilité dans le monde;
- les chercheurs canadiens se classent au septième rang parmi les 20 premiers pays pour le nombre de publications rédigées en collaboration avec des chercheurs internationaux.

Le rapport du CAC indique cinq domaines de recherche où brille le Canada, en fonction des critères suivants :

- la proportion des publications mondiales qui lui revient dans le domaine;
- le nombre de fois qu'on cite des articles canadiens;
- l'augmentation des recherches effectuées au Canada par rapport au reste du monde.

Les domaines de recherches identifiés comme connaissant un vif succès sont la psychologie, les sciences cognitives, la médecine clinique, la santé publique et les services de santé.



Analyse positionnelle du Canada dans 20 domaines de recherche, 2009-2014 :

L'indice de citation relatif moyen est représenté sur l'axe des ordonnées. L'axe des abscisses représente la moyenne mondiale. La ligne pointillée horizontale représente le niveau de citation moyen dans les pays du G7. L'indice de spécialisation (une mesure de la production de publications dans un domaine donné basée sur la moyenne mondiale) est représenté sur l'axe des abscisses. Le volume global de recherche (nombre de publications) est indiqué par la superficie des cercles bleus.

La productivité des chercheurs médicaux canadiens est extraordinaire. Le nombre de publications de recherche au Canada est particulièrement élevé en médecine clinique (4,1 % du total mondial). De tous les domaines, ce sont les publications en médecine clinique qui ont le plus grand rayonnement au Canada et qui jouissent de la meilleure réputation parmi le 1 % de publications les plus citées. Le rayonnement des publications canadiennes dans le domaine de la médecine générale et interne se démarque encore plus.

Le positionnement relatif de la recherche en médecine clinique et son envergure au pays sont dignes de mention. Le domaine de la médecine clinique au Canada accapare en effet un nombre élevé de publications et a un rayonnement important (au-dessus de la moyenne du G7). Il n'a cessé de se spécialiser et d'accroître de l'influence au cours des dernières années.

Les innovations en soins de santé

Le secteur des technologies médicales

Le secteur canadien des technologies médicales compte environ 2 000 entreprises couvrant de nombreux domaines de traitement et plateformes technologiques. Toutefois, certains domaines présentent un intérêt particulier en ce qu'ils font intervenir plusieurs entreprises et experts, ce qui entraîne une forte concentration de produits commercialisés. Le tableau ci-dessous dresse une liste partielle de ces domaines d'intérêt et des entreprises actives dans ces derniers.

Produits de diagnostic

- Diagnostics in vitro (plus de 125 entreprises)
- Imagerie médicale/planification chirurgicale (plus de 80 entreprises, dont *Synaptive Medical*, *IntelliJoint*, *Profound*, *Conavi*)
- Diagnostic de l'activité électrique et des sons corporels (*Auscul Sciences*, diagnostic et apprentissage/intelligence artificielle)
- Dépistage au point de service (*GenePOC*)/diagnostics de laboratoire sur puce (technologie *CALM*, *Ananda*)

Intelligence artificielle

- Aide à la décision clinique, au pronostic, à la radiomique et à la logistique (*Imagia*, *Alayacare*)

Technologies de santé numériques

- Surveillance à distance pour assistance pulmonaire (*Thorasy*) et soins oculaires (*iBionics*)
- Articles portables (*Carré/Hexoskin*, *OM Signal*)

Robotique

- Assistance physique, réadaptation et performances humaines (*Kinova Robotics*, *Synaptive Medical*)

Entraînement virtuel, réalité virtuelle, jeu sérieux

- Simulation et formation (*CAE Healthcare*)
- Réalité virtuelle pour divertissement, traitement, apprentissage, autonomie (*Ubisoft*)



L'astronaute de l'Agence spatiale européenne Frank De Winne teste un système de réalité augmentée [source: NASA, 2009]

Fait particulier, la communauté canadienne des technologies médicales est en grande partie organisée en grappes. Suivant la même orientation thérapeutique ou technologique, ces grappes ont des caractéristiques communes :

- Une base de talents essentiels;
- une masse critique d'infrastructures universitaires et de recherche nécessaires;
- des connaissances et de l'expérience locales dans la mise au point de produits;
- une commercialisation fructueuse (surtout à l'exportation).

Formation et simulation



[source: CAE, 2019]

CAE Santé offre des outils de formation de pointe aux étudiants et aux professionnels de la santé. Ces derniers peuvent ainsi acquérir une expérience pratique au moyen de simulations sans risque, avant de traiter de vrais patients. L'entreprise offre des simulations d'imagerie et d'interventions chirurgicales, un programme d'études, des services de gestion de centres et des simulateurs très réalistes pour adultes, enfants et bébés. Quelque 8 000 simulateurs CAE sont utilisés dans le monde entier par les facultés de médecine, les écoles de sciences infirmières, les hôpitaux et les forces armées, notamment.

Parmi les exemples de grappes, mentionnons la grappe des sciences de la vie et des technologies de la santé *InVivo* du Grand Montréal, qui compte plus de 56 000 postes dans des domaines d'expertise de pointe, et *Innovation Boulevard* à Surrey, en Colombie Britannique, qui contribue de façon importante à la dynamique du secteur dans cette province. Une supergrappe de technologies numériques récemment créée en Colombie-Britannique exploitera des ensembles de données enrichis et de meilleure qualité, ainsi que des applications de pointe à réalité augmentée, l'infonuagique et l'apprentissage automatique pour améliorer la prestation des soins de santé.

De nouveaux modèles de recherche et d'innovation dans le domaine des technologies médicales voient également le jour. *L'Institut TransMedTech* de Polytechnique Montréal, financé par le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada, met au point des technologies

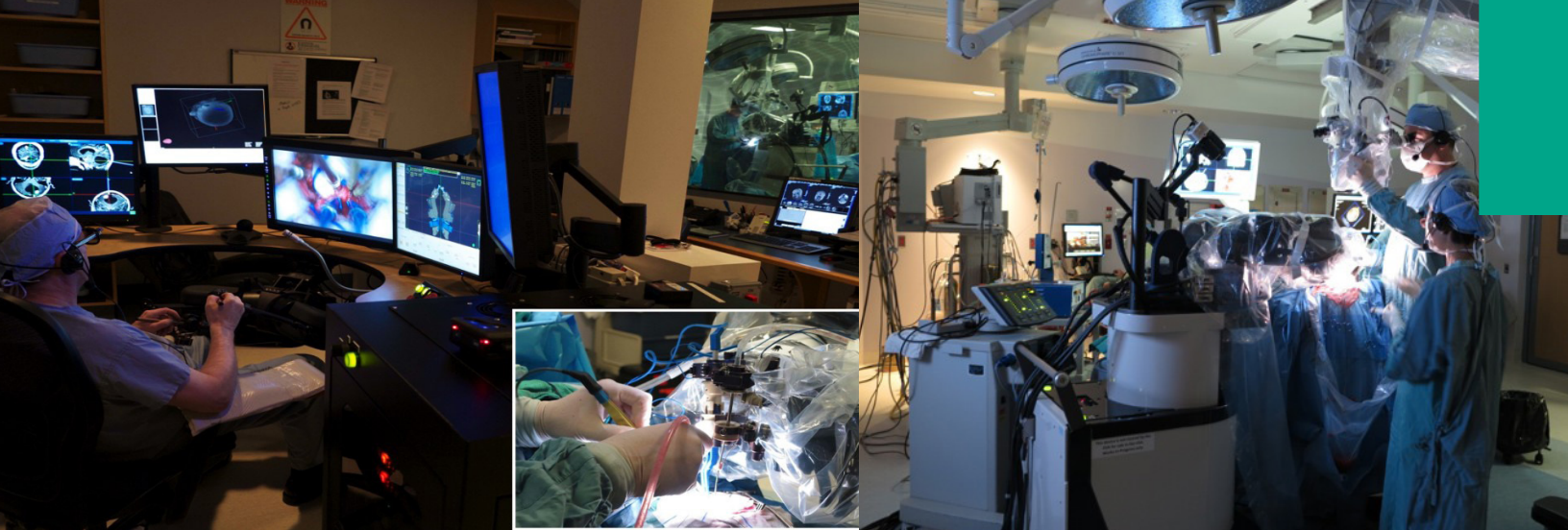
médicales de nouvelle génération pour le diagnostic, le pronostic et le traitement de trois grands groupes de maladies, soit le cancer, les maladies cardiovasculaires et les troubles musculo-squelettiques, ainsi que pour la réadaptation du malade après guérison. Des chercheurs, cliniciens, ingénieurs, patients, étudiants, fournisseurs d'équipement et intervenants du réseau de santé publique collaborent à la mise au point de solutions novatrices en laboratoire vivant.

Biodispositifs pour applications spatiales et terrestres



MicroPREP est une technologie canadienne de laboratoire sur puce [source: ASC, 2017]

Il est important de surveiller les signes vitaux des astronautes et d'effectuer des analyses médicales telles que l'analyse sanguine dans l'espace afin de déterminer et de réduire les risques que posent les vols spatiaux pour la santé. Des biodispositifs comme les technologies dites de laboratoire sur puce pourraient automatiser et intégrer de multiples protocoles d'analyse complexes et ainsi générer une abondance de données bénéfiques à la médecine moléculaire et aux soins dans l'espace. Grâce à ces nouvelles technologies, une bioanalyse pourrait être effectuée rapidement et à peu de frais par un personnel ayant peu de formation.



Le robot de microchirurgie neuroArm combine la technologie robotique dérivée du Canadarm2 de la Station spatiale internationale avec système d'imagerie intraopératoire [source: Projet neuroArm, Université de Calgary]

Incubateurs, accélérateurs et jeunes entreprises

Le milieu de l'innovation au Canada est solide et actif. À elle seule, Toronto compte plus de 60 incubateurs et accélérateurs, et entre 2 500 et 4 100 jeunes entreprises. *MaRS Discovery District*, *DMZ OneEleven*, *Creative Destruction Lab* et *Communitech* sont des centres bien connus dans la région de Toronto-Waterloo. Ces centres soutiennent les entreprises en démarrage dans le domaine des technologies, de l'idée de base au passage à la phase préliminaire puis à l'expansion. La *Biomedical Zone*, une collaboration entre l'Université Ryerson et l'hôpital St. Michael's, est un exemple d'incubateur dans le domaine de la santé. Montréal accueille elle aussi une multitude d'organismes appuyant les petites et moyennes entreprises et les entreprises en démarrage, tels que *Tandem Launch*, *District 3* et *CTS*.

Les jeunes entreprises ont accès au financement auprès du gouvernement fédéral, des provinces et des municipalités. Des régimes fiscaux favorables et un environnement réglementaire favorable qui permet la mise en marché d'un instrument

médical en aussi peu que quatre à six mois font du Canada un terreau fertile pour les entreprises en démarrage.

Le Canada compte plusieurs instituts de recherche spécialisés ainsi que 23 réseaux de centres d'excellence liés aux soins de santé, spécialisés dans des domaines comme les technologies et le vieillissement, la santé du cerveau des enfants et les biothérapies pour le traitement du cancer. Le riche bassin de main-d'œuvre qualifiée, dans lequel les deux tiers des Canadiens détiennent un diplôme d'études postsecondaires, est également attrayant pour les entreprises en démarrage qui souhaitent prospérer au Canada.

Néanmoins, les entreprises du domaine des technologiques rencontrent des obstacles qui les empêchent de poursuivre leur expansion à l'échelle nationale. Les entreprises à un stade plus avancé qui comptent sur le financement par capital de risque se tournent souvent vers des sources plus lucratives chez



Le président de l'ASC, Sylvain Laporte, à InvestmentSpace 2019, un événement contribuant à créer de nouvelles opportunités pour les entreprises canadiennes du secteur spatial [source: ASC, 2019]

nos voisins du sud. Les incitatifs fiscaux à l'investissement étranger aux États-Unis ont augmenté le financement dont pourraient se prévaloir les jeunes entreprises canadiennes. Le financement par capital de risque au Canada, quant à lui, est limité. En général, les entreprises canadiennes arrivent à attirer du financement moins souvent et plus tard au cours de leur expansion, dans des cycles de financement plus restreints que les entreprises comparables aux États-Unis.

En plus de ces difficultés liées à l'accès au capital, l'écosystème commercial du Canada souffre également d'un manque de cadres et de gestionnaires hautement qualifiés, lequel peut être exacerbé par la faible tolérance au risque du pays.

Tendances technologiques

One of the most rapidly advancing technology L'intelligence artificielle est l'un des domaines technologiques de notre décennie qui évolue le plus rapidement. L'apprentissage automatique et les systèmes adaptables deviennent omniprésents dans notre économie et notre société, et ils ont tout le potentiel voulu pour améliorer notre quotidien.

L'intelligence artificielle est une compétence centrale pour le Canada; le pays est à l'avant-garde dans ce domaine depuis des années. Les centres de recherche en intelligence artificielle d'Edmonton, de Toronto et de Montréal sont devenus des plaques tournantes mondiales et attirent l'attention d'investisseurs internationaux. Ce sont les chefs de file mondiaux de l'informatique cognitive, de l'apprentissage profond et de la bio-informatique

Arrimer le savoir-faire des universités aux besoins des entreprises

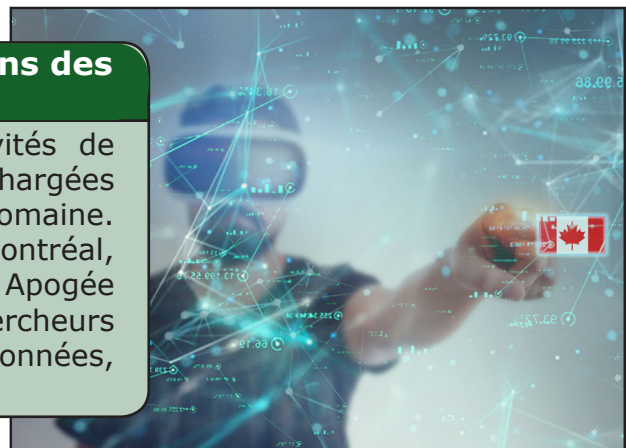
L'intelligence artificielle fait maintenant partie des activités de recherche de nombreuses universités canadiennes qui sont chargées de former la prochaine génération de chercheurs dans le domaine. Par exemple, l'Institut de valorisation des données de Montréal, financé en partie par le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada, réunit des professionnels du secteur privé et des chercheurs universitaires qui établissent une expertise en science des données, en recherche opérationnelle et en intelligence artificielle.



Les astronautes de l'Agence spatiale canadienne Jeremy Hansen (gauche) et David Saint-Jacques (droit) [source: ASC, 2017]

qui forment certains des jeunes talents les plus prometteurs. Les plateformes de calcul haute performance comme Calcul Canada et la Southern Ontario Smart Computing Innovation Platform ont une contribution sans pareil aux activités d'intelligence artificielle du Canada. Le gouvernement canadien a investi une somme importante (572 millions de dollars) pour appuyer la recherche avancée par l'entremise de Calcul Canada et de Canarie qui profitera à tous les Canadiens et au domaine de la recherche et du développement en intelligence artificielle.

Sur la scène internationale, de grands acteurs du secteur privé comme IBM (Watson/Bluemix), Apple et Google (Brain Team) investissent des centaines de millions de dollars dans des laboratoires de recherche et de développement sur l'intelligence artificielle. Les soins de santé sont particulièrement prisés en la matière. Les technologies médicales représentaient en effet 30 % des dépenses annuelles en capital-risque de Google en 2017; la société prédit d'ailleurs un avenir où les ordinateurs et les machines dicteront les façons de faire dans le domaine de la santé.





PARTIE 4

MESURES SOCIO- ÉCONOMIQUES À PRIVILÉGIER

Les besoins du système de soins de santé canadien

Le système public de soins de santé assure l'universalité des services de santé médicalement nécessaires en fonction des besoins plutôt qu'en fonction de la capacité de payer. Bien qu'il soit reconnu et qu'il fasse la fierté des Canadiens, le système comporte des défis.

Il serait possible de répondre à certains besoins en matière sociale en faisant appel à des partenaires nationaux, dont l'Agence spatiale canadienne, ses astronautes et les intervenants du milieu. L'expertise, les technologies, les protocoles et les systèmes qui serviront à prodiguer des soins de santé aux astronautes dans l'espace lointain pourraient également profiter aux citoyens des régions éloignées du pays et aux malades chroniques vivant à domicile.

Les coûts des soins de santé au Canada dépassent 228 milliards de dollars par année. Toutefois, selon l'Institut canadien d'information sur la santé, les dépenses ne suivent pas le rythme de l'inflation et de la croissance démographique.

Dans son étude de 2017, le Fonds du Commonwealth, une fondation privée américaine, a comparé les systèmes de santé de 11 pays aux revenus élevés, soit l'Allemagne, l'Australie, le Canada, les États-Unis, la France, la Norvège, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, le Royaume-Uni, la Suède et la Suisse. Le rendement a été mesuré à l'aide de 72 indicateurs dans cinq domaines : processus de prestation des soins, accès, efficacité administrative, équité et résultats.

Cette étude internationale classe le Royaume-Uni, l'Australie et les Pays-Bas en tête de liste, le Canada étant un peu plus à la traîne dans un certain nombre de catégories. Dans l'ensemble, le Canada vient au 9^e rang des 11 pays. Là où le bât blesse pour le Canada, c'est au niveau de l'accès (par exemple, des obstacles nuisent à la capacité de certains citoyens de se prévaloir de soins de santé), de l'équité (l'efficacité n'est pas

	AUS	CAN	FRA	ALL	P.-B.	N.-Z.	NOR	SUÈ	SUI	R.-U.	É.-U.
CLASSEMENT GÉNÉRAL	2	9	10	8	3	4	4	6	6	1	11
Processus de prestation des soins	2	6	9	8	4	3	10	11	7	1	5
Accès	4	10	9	2	1	7	5	6	8	3	11
Efficacité administrative	1	6	11	6	9	2	4	5	8	3	10
Équité	7	9	10	6	2	8	5	3	4	1	11
Résultats	1	9	5	8	6	7	3	2	4	10	11

Classement du rendement des systèmes de santé [source: Fonds du Commonwealth, 2017]

la même selon la tranche de société à laquelle on appartient) et des résultats (le taux de mortalité est plus élevé). La France et les États-Unis ferment la marche du classement.

Les besoins en matière d'innovation dans les soins de santé au Canada

À l'instar de l'étude du Fonds du Commonwealth, le *Groupe consultatif sur l'innovation des soins de santé* a constaté un lent déclin du système de santé du Canada par rapport à ses pairs internationaux. Dans son rapport de 2015 intitulé *Libre cours à l'innovation : Soins de santé excellents pour le Canada*, le groupe d'experts a fait remarquer que la réforme des soins de santé s'est révélée extrêmement difficile pour les provinces et territoires. Il a conclu qu'il était peu probable qu'on puisse apporter des améliorations durables dans le domaine des soins de santé sans une refonte du système et un renforcement des capacités.

Pour donner libre cours à l'innovation dans les systèmes de santé du Canada, le groupe d'experts a recommandé de prôner une collaboration accrue entre les administrations publiques. Pour intensifier les innovations en cours, les provinces doivent s'engager à l'unisson à apporter des changements fondamentaux à leurs incitatifs, à leur culture, à leurs responsabilités et à leurs systèmes d'information.

Le groupe d'experts a également recommandé de recentrer les soins de santé sur la préservation de la santé des Canadiens (notamment par une meilleure intégration des soins de santé et des services sociaux), se disant d'avis que les

patients devraient pouvoir être propriétaires de leur dossier médical afin qu'ils puissent prendre d'eux-mêmes les mesures qui s'imposent.

Le vieillissement de la population canadienne

Le rythme du vieillissement de la population canadienne s'accélère. Dans le recensement de 2016, pour la première fois, le nombre de Canadiens âgés de 60 ans et plus a dépassé le nombre de ceux âgés de 15 ans et moins. De plus, le nombre de personnes très âgées (85 ans et plus), particulièrement les centenaires, est en plein essor, avec une augmentation de 10 % entre 2011 et 2016.

En 2035, le Canada s'ajoutera à la liste des pays superâgés, avec plus de 30 % de la population âgée de plus de 60 ans. L'espérance de vie est désormais de 83 ans pour les femmes et de 79 ans pour les hommes. On s'attend à ce qu'un tiers des bébés nés cette année au Canada vive au moins cent ans. De tels chiffres étonnants, rendus possibles par l'amélioration du système d'éducation, des soins de santé et de la richesse, créeront des possibilités uniques pour notre pays et produiront une société dans laquelle les personnes âgées demeureront actives et occuperont une place plus prépondérante sur les plans familial, sociétal et même économique.





Cet incroyable nouveau paysage démographique n'est toutefois pas sans coût, car l'espérance de vie en santé n'a pas augmenté au même rythme que l'espérance de vie absolue. En effet, de 30 à 40 % des Canadiens âgés de 85 ans et plus souffrent de trois maladies chroniques ou plus qui limitent leur mobilité, leur capacité de profiter de la vie et surtout leurs capacités cognitives.

Cette nouvelle réalité exerce d'énormes pressions sur notre système de soins de santé, d'autant plus que les Canadiens travaillent jusqu'à un âge plus avancé et souhaitent vieillir à la maison. De plus, à mesure que le noyau familial continue d'évoluer, que les familles sont de plus en plus éclatées et que les enfants s'éloignent de leurs parents vieillissants, le rôle des aidants naturels dans le soutien des personnes âgées se complexifie.

Les sondages menés auprès des Canadiens révèlent un désir ardent de vieillir à la maison, peu importe le sens donné au mot maison. Dans ce contexte, l'accès aux services de santé exige une approche communautaire où des établissements de santé et des hôpitaux spécialisés et à la fine pointe se limiteront au traitement de troubles de santé graves. Les services de santé communautaires doivent donc s'armer du nécessaire pour surveiller la santé de vastes populations et offrir des interventions plus ciblées.

Bien que des activités de recherche et développement pour la mise au point de technologies utiles à la population vieillissante aient cours au Canada depuis 30 ans, il n'existe

Indépendants, mais branchés

La technologie aura un rôle de premier plan dans la surveillance et la gestion de la santé et du bien-être des Canadiens âgés, soit celui de leur accorder une certaine autonomie. Il existe déjà des appareils mobiles qui aident les personnes âgées à suivre leur médication, leur régime alimentaire et leurs plans d'exercice et qui les mettent en contact avec des professionnels de la santé qui surveillent leur état de santé. Les progrès réalisés dans le domaine des capteurs intégrés qui intègrent les technologies d'intelligence artificielle et de réalité virtuelle pourraient permettre d'ajouter des capacités de prédiction à ces technologies de télésurveillance et de télésanté, ce qui autoriserait des interventions avant l'apparition de la maladie.

aujourd'hui pas beaucoup de produits viables offerts sur le marché. Peu d'entre ceux qui ont vu le jour dans nos universités et centres de recherche ont franchi la « vallée de la mort » pour finalement être mis sur le marché.

La vallée de la mort



Dans le monde de la recherche en santé, il y a une zone entre le laboratoire de recherche et le marché commercial où de nombreuses bonnes idées biomédicales connaissent une mort prématurée. C'est ce qu'on appelle la « vallée de la mort », une situation causée en partie par un manque de financement. Les subventions des principaux bailleurs de fonds de la recherche biomédicale visent généralement la recherche fondamentale. Toutefois, les découvertes scientifiques les plus primordiales exigent des essais coûteux en cliniques ou sur des animaux avant que des investisseurs privés osent se mouiller.

Les soins de santé en régions éloignées

L'accès équitable aux soins de santé est un pilier fondamental de la prestation des services de santé aux termes de la *Loi canadienne sur la santé*. C'est aussi un droit humain universel. En vérité, d'importants obstacles se dressent devant les Canadiens qui vivent dans des milieux ruraux et éloignés. Représentant 20 % de la population de notre pays, ces citoyens éprouvent bien des difficultés à accéder aux soins de santé essentiels et spécialisés.

Les personnes les plus touchées sont les peuples autochtones qui vivent dans des collectivités mal desservies. Les disparités dans l'accès aux soins médicaux affectent les plus vulnérables de cette population, soit les enfants, les femmes enceintes et les personnes âgées. Les taux de tuberculose, de toxicomanie, de co-infection VIH hépatite C, de maladies chroniques comme le diabète, de suicide chez les jeunes et de blessures traumatiques sont les plus élevés au Canada. La mortalité infantile dans la population autochtone est deux fois plus élevée que dans le reste du pays.

En plus de la population autochtone canadienne, la population des peuples autochtones ailleurs dans le monde se dénombrent par centaines de millions. Tout comme au Canada, plusieurs gouvernements peinent à pouvoir assurer un accès équitable aux soins de santé et à avoir une imputabilité envers leurs citoyens fondateurs. Dans son rapport de 2017, la Commission des déterminants sociaux de l'Organisation mondiale de la santé souligne la nécessité de prendre en compte la colonisation, les désavantages sur le plan de la santé et les approches uniques des peuples autochtones en matière de santé.

Les technologies robotiques de téléprésence

Dans les milieux éloignés, les soins de santé sont généralement prodigués par des cliniques de santé communautaire dotées d'infirmières qui exercent leur profession avec l'aide de médecins de famille externes. Bien qu'il y ait des visites périodiques de médecins dans ces cliniques éloignées, la livraison de services de santé dépend fortement du transport aérien, un fardeau économique important pour ce système. Les technologies robotiques de téléprésence donnent l'impression que les médecins sont sur place, ce qui leur permet de fournir des services cliniques en temps réel, même à distance.



Robot de présence à distance utilisé dans les soins aux patients [source: Ivar Mendez, l'Université de Saskatchewan, 2018]



Détail Raven-in-Moon de l'emblème de l'Expedition 20/21 de l'ASC ISS [source: Bill Helin, 2009]



La réunion du groupe d'experts avec le président de l'ASC, Sylvain Laporte [source: ASC, 2018]

PARTIE 5

RECOMMANDATIONS AU PRÉSIDENT

Le Canada est un chef de file en matière de prestation de soins de santé de pointe ainsi que dans la recherche et les technologies connexes. Notre expertise en chirurgie minimalement invasive, en robotique médicale à distance, en formation médicale et en simulation est hautement reconnue à l'échelle internationale, tout comme nos grappes de classe mondiale en technologies médicales et en intelligence artificielle.

Le groupe d'experts formule quatre recommandations qui prennent appui sur nos forces en matière d'innovation dans le domaine des soins de santé. Ces recommandations reposent sur trois principes quant au rôle de l'Agence spatiale canadienne. L'Agence devrait ainsi :

- i. Lancer une nouvelle initiative qui soit essentielle, abordable, ayant une grande visibilité et qui puisse générer des bénéfices pour la société, et qui s'appuiera sur le rôle joué par le Canada en tant que leader respecté parmi les puissances spatiales;
- ii. Offrir aux Canadiens un défi audacieux qui mettra à l'épreuve les capacités de notre pays et qui mettra à profit nos forces;
- iii. Entretenir des partenariats interdisciplinaires avec des intervenants non traditionnels, diversifier le réseau professionnel de l'Agence et la portée de ses capacités.

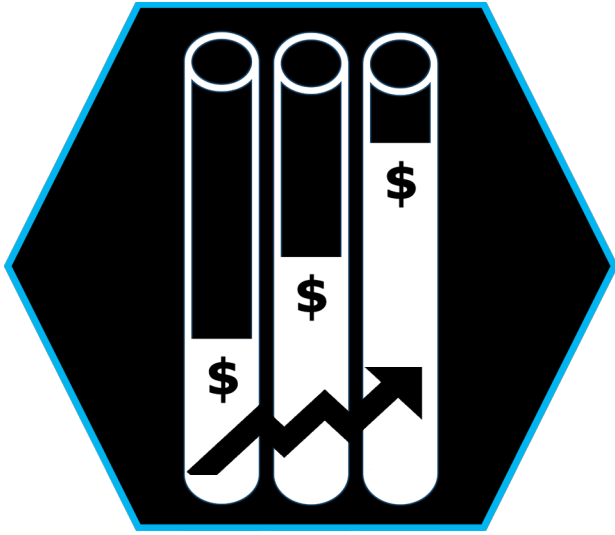
Les recommandations du groupe d'experts sont les suivantes :

1. Le Canada devrait investir de manière significative dans les soins de santé autonomes pour les missions spatiales dans l'espace lointain, et ce afin d'offrir une contribution audacieuse pour l'exploration spatiale et de développer l'expertise canadienne en soins de santé virtuels au profit de tous les Canadiens.
2. Le Canada devrait jouer le rôle d'intégrateur et de responsable principal des soins de santé aux astronautes dans le cadre des missions dans l'espace lointain.
3. En plus de la surveillance opérationnelle, le Canada devrait fournir des technologies qui soit intégrées aux unités de soins de santé servant aux missions dans l'espace lointain, selon son expertise nationale.
4. Afin d'appuyer l'Agence spatiale canadienne dans le développement et la mise en œuvre de cette initiative potentielle, il incomberait de mettre sur pied un organisme de collaboration multidisciplinaire représentant l'expertise du Canada dans les créneaux liés aux opérations spatiales et à la prestation de services en santé, et alliant des compétences aux niveaux commercial, de la recherche et du gouvernement.





L'astronaute de l'ASC Chris Hadfield en sortie extravéhiculaire
[source: NASA, 2005]



1. Le Canada devrait investir de manière significative dans les soins de santé autonomes pour les missions spatiales dans l'espace lointain, et ce afin d'offrir une contribution audacieuse pour l'exploration spatiale et de développer l'expertise canadienne en soins de santé virtuels au profit de tous les Canadiens.

Les façons conventionnelles de gérer, de réaliser et d'appuyer les missions spatiales en basse orbite terrestre ne s'appliqueront plus à l'espace lointain. Les futures missions d'exploration, dans lesquelles on devra parcourir de longues distances et qui seront caractérisées par des délais de communication et de transmission de données avec le poste de commande sur Terre, présenteront des défis majeurs qui nécessiteront de nouvelles approches au niveau des opérations. Les destinations de plus en plus éloignées et hostiles rendront obsolètes les méthodes qui ont été prouvées efficaces jusqu'ici.

Les soins de santé pour les astronautes dans l'espace lointain, par exemple, nécessiteront l'avènement de nouvelles technologies en soins à distance. C'est ainsi qu'on peut parler de *soins de santé virtuels*, terme qui fait référence à ces technologies numériques de communication qui facilitent la prestation des soins de santé dans les régions éloignées :

- les consultations virtuelles et les visites de patients;
- les unités de soins intensifs à distance;
- les technologies d'aide au diagnostic fondées sur l'intelligence artificielle;
- les soins de transition (après l'hospitalisation) et la surveillance de la santé à domicile/mobile;
- les soins médicaux à distance par Internet;
- la surveillance à distance des patients atteints de maladies chroniques à domicile;
- la messagerie électronique sécurisée;
- les dossiers de santé personnels reliés aux systèmes de dossiers de santé électroniques.

Les technologies évolueront vers l'autonomie partielle, alors qu'elles ne nécessiteront qu'un certain degré d'intervention des fournisseurs de soins de santé locaux en milieu clinique, et l'autonomie complète, lorsque les soins se prodigueront sans aucune intervention des fournisseurs locaux. Les diagnostics

autonomes avec algorithmes de traitement fondés sur des éléments probants appuyés par des consultations virtuelles constitueront probablement le premier pas dans cette direction.

L'intégration des soins de santé virtuels dans le cadre des missions dans l'espace lointain pourrait grandement améliorer les interactions entre les astronautes et les médecins de vol œuvrant au sol et faciliter la transmission de l'information médicale. En outre, la mise au point de technologies de soins autonomes (par exemple les systèmes de prise de décisions à apprentissage automatique qui facilitent la prévention, le diagnostic et le traitement de troubles de la santé) permettra aux membres d'équipage de jouer un rôle plus important dans la prise en charge de leur propre santé et de leur propre bien-être. La médecine dans l'espace, comme celle sur Terre, adoptera de plus en plus des modèles centrés sur le patient et les points de service.

Les progrès réalisés dans les soins autonomes et virtuels pourraient également être bénéfiques

ici sur Terre. Tout comme l'espace, les régions éloignées du Canada sont de vastes contrées inhospitalières et isolées. Le travail de prestation de soins de santé est parsemé d'embûches dans le Nord pour les praticiens, qui font tout en leur pouvoir pour prodiguer des soins optimaux en toute équité. Les modes de fonctionnement utilisés dans l'espace lointain ainsi que les enseignements qui en seront tirés pourraient finir par être adaptés à la réalité des milieux éloignés.

Les praticiens en soins primaires pourraient eux-mêmes en bénéficier. La formation spécialisée et le matériel mis au point pour les soins médicaux dans l'espace lointain pourraient favoriser l'autonomie des médecins et du personnel infirmier travaillant dans les régions nordiques où l'accès aux spécialistes cliniques, aux ingénieurs biomédicaux et aux technologies de pointe est limité. Ces ressources pourraient mieux outiller les praticiens afin de permettre à ces derniers de prodiguer des soins primaires dans des contextes cliniques difficiles et accroître leur niveau de confiance.

Avantages potentiels pour les soins de santé à distance



Les innovations en soins de santé pour l'espace lointain pourraient rendre les opérations médicales des Forces armées canadiennes plus efficaces au Canada comme à l'étranger. La réputation du Canada en tant que premier intervenant lors des missions visant à appuyer les efforts internationaux en réponse aux désastres naturels et autres opérations humanitaires pourrait aussi être renforcée.

Les technologies innovantes développées pour les voyages spatiaux pourraient être adaptées afin d'aider les régions où la livraison des soins de santé est déficiente. Ceci est particulièrement pertinent pour les pays en développement où cinq milliards de personnes n'ont pas d'accès à des soins chirurgicaux. Le Lancet medical journal rapportait en 2015 que chaque année, plus de 143 000 procédures chirurgicales ne sont pas effectuées, ayant pour conséquence des pertes de vies et celle de milliards de dollars en productivité mondiale.

L'amélioration des procédures chirurgicales applicables pour les vols spatiaux pourrait être bénéfique pour les pays en développement en rendant la livraison des soins de santé plus abordable et plus facile à mettre en œuvre. L'impression 3D, la formation clinique augmentée et les systèmes chirurgicaux robotiques autonomes sont des solutions

technologiques qui pourraient être transférées de l'espace lointain vers les salles opératoires en régions éloignées.

Aussi, les systèmes autonomes pourraient fournir aux patients souffrant de troubles chroniques et qui vivent en milieu urbain des façons de prendre en charge certains aspects de leur santé. Les technologies de détection mises au point pour surveiller l'état de santé des astronautes pourraient servir à faire de même pour ces patients et ce, à partir d'un point central, afin de leur éviter des visites aux urgences et dans les hôpitaux.

Ainsi, les capacités acquises grâce à la mise au point de technologies de soins de santé virtuels dans l'espace lointain pourraient transformer les soins de santé au Canada. Les leçons apprises pourraient entraîner une réduction des coûts et une hausse de la qualité des soins offerts.



Physiologie extraterrestre

Les astronautes sont des extraterrestres en ce sens que la physiologie dans l'espace est différente de celle de la Terre. Autrement dit, le point de référence en matière de santé dans l'espace diffèrera de ce qu'on considère comme normal pour la santé et le bien-être sur Terre. Ainsi, les systèmes autonomes utilisés pour prendre en charge la santé des astronautes devront être conçus sur mesure en fonction des adaptations de l'organisme à l'environnement des véhicules et des habitats sur la Lune, sur Mars ou à un quelconque autre endroit dans l'espace si on veut qu'ils tiennent compte des risques inhérents à une telle situation et suivent les traitements nécessaires.





2. Le Canada devrait jouer le rôle d'intégrateur et de responsable principal des soins de santé aux astronautes dans le cadre des missions dans l'espace lointain.

Le Canada devrait se donner, comme objectif à long terme, de devenir un chef de file en prestation de soins de santé aux astronautes dans l'espace lointain. En collaborant avec des partenaires internationaux, le Canada jouerait un rôle de premier plan dans la mise au point de systèmes de soins autonomes pour les équipages et ce, afin :

1. d'assurer le bien-être des astronautes;
2. de permettre la détection précoce de maladies;
3. d'accroître l'autonomie de l'équipage en matière de traitement des maladies et de réadaptation à la suite d'une blessure.

Le Canada devrait être l'intégrateur et le grand responsable des soins de santé pour les véhicules et les habitats dans l'espace lointain, et non simplement un contributeur. Le Canada agirait à titre de fournisseur de soins global aux astronautes, sous la direction d'un programme de la NASA et de la communauté internationale de médecine opérationnelle.

À titre d'exemple, le système de soins de santé à bord de la Station spatiale internationale est désigné « Système de soins de santé de l'équipage » (Crew healthcare System). Il s'agit d'un ensemble d'instruments, de machines et de protocoles qui procure les capacités médicales et l'environnement nécessaires pour assurer la santé et la sécurité des membres d'équipage de la Station. Ce système se divise en trois sous-systèmes embarqués :

- le **matériel médical de bord**, qui surveille la santé des astronautes et permet de prodiguer des soins médicaux. Il comprend également de l'équipement de survie et de réanimation d'urgence;

- le **système de contremesures**, qui comprend l'équipement et les protocoles pour la surveillance et l'exécution d'exercices quotidiens, afin de réduire au minimum les effets du déconditionnement physiologique des vols spatiaux;
- le **système d'hygiène de l'environnement**, qui surveille les contaminants gazeux et microbiens, la qualité de l'eau, l'acoustique et les niveaux de radiation à bord du complexe orbital.

En tant qu'intégrateur et responsable principal, le Canada superviserait le système de soins de santé équivalent pour les véhicules et les habitats dans l'espace lointain. Il s'agirait d'une fonction englobant les volets terrestre et spatial.

Les responsabilités associées au **volet terrestre** seraient axées sur l'intégration, la formation et l'exploitation. Celles-ci incluraient notamment :

- de mettre à l'essai et qualifier le matériel de vol, les logiciels et les protocoles de soins virtuels des partenaires canadiens et internationaux et les intégrer dans le système de soins de santé de bord dans l'espace lointain;
- de donner une formation de base et une formation avancée aux équipages, au personnel de soutien, aux instructeurs et aux médecins de vol;
- de surveiller toutes les activités médicales pendant les vols spatiaux;
- d'exploiter des laboratoires en appui à la recherche et au développement technologique.

Le volet terrestre serait en partie élaboré et mis en réseau au Canada. Le banc d'essai pourrait comprendre des centres de soins primaires imitant l'environnement en vol (milieux cliniques, simulateurs de formation, laboratoires vivants) répartis dans des régions éloignées ou nordiques, reliés à un grand hôpital dans le sud du Canada. Les protocoles centrés sur le patient et les protocoles de point de service destinés aux astronautes dans l'espace lointain seraient ainsi évalués dans un cadre clinique réaliste.

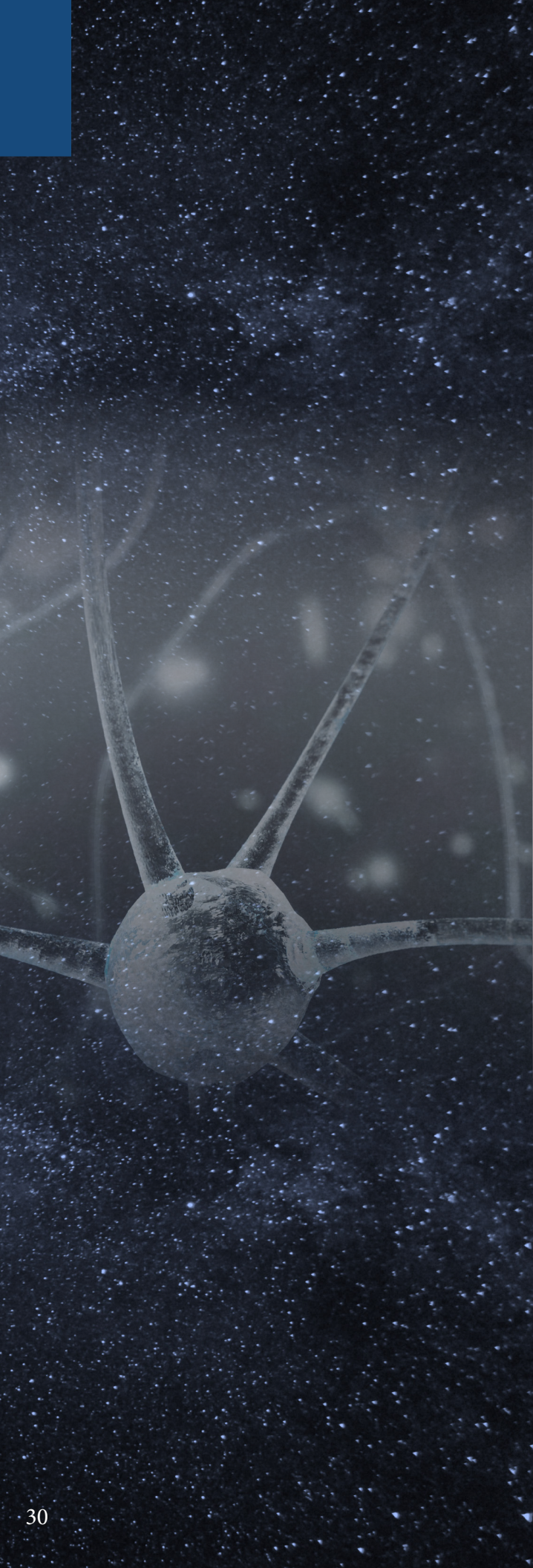


L'astronaute de l'ASC Robert Thirsk télé-surveillé de la Terre via une procédure pour visualiser son œil
[source: NASA, 2009]



Centre de télé-exploitation des charges utiles
[source: ASC, 2018]





Pour le **volet spatial**, le Canada aurait à superviser les installations de soins de santé dans l'espace lointain pour le compte de ses partenaires internationaux, notamment :

- la surveillance opérationnelle de tous les sous-systèmes (internationaux et canadiens) de l'unité de soins de santé de l'équipage, y compris les tâches quotidiennes (par exemple la surveillance/le téléchargement en liaison montante et descendante des données cliniques, l'entretien en vol et la facilitation des communications avec l'équipage);
- une formation d'appoint pour l'équipage de bord (par exemple, simulations d'urgence médicale);
- la supervision, par la direction, de la prestation des soins de santé, comme l'établissement du calendrier, les examens, les séances d'information, l'inventaire, le réapprovisionnement, la distribution et l'archivage des données et les ressources humaines;
- la fourniture d'outils techniques aux médecins de vol et aux psychologues internationaux afin de soutenir l'équipage et leurs familles.

La surveillance se limiterait aux installations de bord. Chaque pays participant jouirait d'une autonomie au niveau de ses activités de surveillance et d'examens médicaux pour ses propres membres d'équipage et de la confidentialité des renseignements médicaux de ses astronautes.

Le Canada pourrait mettre à profit sa réputation internationale et ses capacités en matière d'apprentissage automatique et d'apprentissage profond en devenant la référence dans la conception architecturale du réseau informatique de santé à bord. Ce réseau comprendrait des outils d'aide à la décision avec intégration et analyse en temps réel des données médicales. Il serait arrimé aux orientations actuelles en soins de santé et aux innovations qui en découlent.

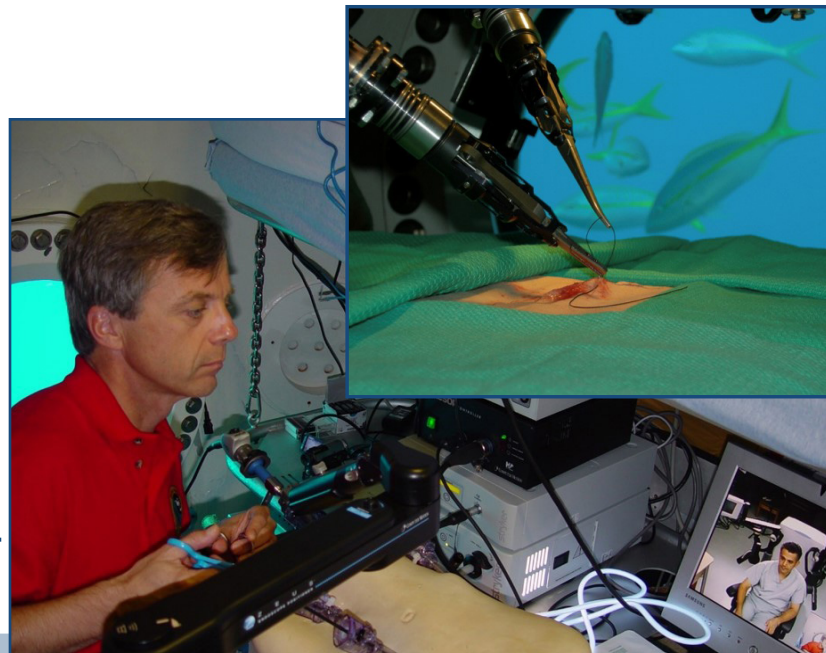


3. En plus de la surveillance opérationnelle, le Canada devrait fournir des technologies qui soit intégrées aux unités de soins de santé servant aux missions dans l'espace lointain, selon son expertise nationale.

L'attribution au Canada d'un rôle de responsable et d'intégrateur n'empêcherait pas les partenaires nationaux de fournir des sous-systèmes de soins médicaux dans l'espace lointain. En effet, de nombreux partenaires internationaux participeraient aux soins prodigués aux astronautes en greffant des éléments de diagnostic et de traitement à au véhicule spatial, selon l'expertise et les intérêts de chaque pays.

L'industrie canadienne possède les capacités et la masse critique nécessaires pour mettre au point des solutions de prestation de soins de santé dans l'espace lointain. Les grandes entreprises canadiennes, autant que les petites, ont suffisamment d'envergure et de capacité d'innovation pour fournir des sous-systèmes, comme les suivants :

- diagnostic in vitro et diagnostic au point de service;
- formation sur simulation pour les fournisseurs de soins de santé;
- impression tridimensionnelle;
- imagerie diagnostique avancée;
- Système de pointe pour le guidage, la planification et la robotique chirurgicale.



L'astronaute de l'ASC Robert Thirsk s'entraînant sous l'eau aux techniques de chirurgie laparoscopique [source: NASA, 2004]



4. Afin d'appuyer l'Agence spatiale canadienne dans le développement et la mise en œuvre de cette initiative potentielle, il incomberait de mettre sur pied un organisme de collaboration multidisciplinaire représentant l'expertise du Canada dans les créneaux liés aux opérations spatiales et à la prestation de services en santé, et alliant des compétences aux niveaux commercial, de la recherche et du gouvernement.

L'Agence spatiale canadienne ferait preuve de beaucoup d'audace en mettant en œuvre un projet de prestation de soins de santé aux astronautes dans l'espace lointain puisqu'elle n'a jamais entrepris une pareille initiative auparavant. Bien que l'ASC ne possède pas l'expertise et les ressources des grandes puissances spatiales, notre écosystème national d'innovation en santé a la capacité de mener à bien une telle entreprise. Nous recommandons la mise sur pied de groupes d'experts externes de haut calibre qui œuvreront avec l'ASC à la conception et à la mise en œuvre de cette initiative.

À court terme, ce groupe consultatif aiderait l'Agence à évaluer en quoi consisterait ce projet ainsi qu'à identifier les intervenants potentiels concernés, l'échéancier du projet et les efforts requis (on détermine en fait qui fait les choses et comment). Il y a une myriade de points forts, de faiblesses, de possibilités et de menaces à considérer.

Les membres de ce groupe devraient posséder des réseaux étendus. Collectivement, ils seraient diversifiés (sexe, région, origine ethnique et âge, par exemple) et possèderaient une expertise variée en matière de soins cliniques, de santé publique, de recherche, de technologies, d'affaires publiques, de développement commercial et d'exploration spatiale. Ils connaîtraient bien les normes cliniques, les politiques, les règlements et les modèles de prestation de services.

Le groupe consultatif aiderait l'ASC à définir l'envergure du projet ainsi que les ressources nécessaires. L'Agence pourrait ainsi mieux cibler ses partenaires et faire connaître le projet aux citoyens, aux médias et au gouvernement.

Le groupe se voudrait d'abord et avant tout axé sur la collaboration, l'intégration et sur une approche holistique. Les personnes ou les



organisations ayant des conflits d'intérêts par rapport à un programme qui en serait issu seraient exclues des candidats admissibles.

Si le projet devait se concrétiser et devenir un programme de l'Agence, nous l'entrevoyons comme un consortium national multipartite. Chaque organisme partenaire apporterait les forces qui lui sont propres et l'expertise nécessaire et offrirait du financement et des services en nature. Collectivement, le consortium deviendrait un extraordinaire réseau distribué et collaboratif.

L'ASC pourrait alors mettre sur pied et diriger un groupe directeur national représentant les partenaires du consortium. Il serait composé d'intervenants de haut niveau qui superviseraient les éléments clés (tels que les objectifs, les politiques, l'affectation des ressources, les communications et les décisions entraînant des dépenses importantes) ainsi que la gouvernance.

Comme dans le cas du groupe consultatif, ce groupe directeur qui interviendrait plus tard dans le cadre du projet incarnerait le savoir-faire et la diversité multisectoriels nécessaires à la mise en œuvre de cet ambitieux projet. Il aurait en outre droit aux services offerts par un secrétariat central.

Il sera impératif que l'ASC dirige les deux organismes externes en exerçant un leadership fort si elle veut former un nouveau réseau dans un esprit de collaboration et de diversité. Il s'agira d'un rôle nouveau et stimulant pour l'Agence qui se fera l'intermédiaire entre un riche arsenal de partenaires ouverts à l'autre. Bien que l'ASC dispose de ressources médicales limitées, elle possède une vaste expérience des vols spatiaux et des capacités opérationnelles. En tant que chef du consortium, elle conserverait la fonction de supervision, en demeurerait responsable et serait imputable.

Le projet de soins de santé pour les astronautes dans l'espace lointain nécessiterait un investissement important en temps, en efforts et en ressources de la part de tous les partenaires. Notre écosystème national d'innovation en soins de santé, dirigé par l'Agence spatiale canadienne a toutefois la profondeur, l'envergure et la crédibilité nécessaires pour y parvenir.

Les points qui viennent d'être présentés constituent nos recommandations. Les soins de santé dans l'espace lointain représentent une occasion unique que doit saisir l'Agence spatiale canadienne. Le Canada est bien placé pour développer et diversifier ses travaux d'innovation en santé pour en faire son créneau dans les activités d'exploration spatiale. L'expertise, les ressources et les ambitions du milieu canadien des soins de santé sont présents afin de réaliser cette vision. Le projet pourrait également transformer la prestation de soins de santé aux patients atteints de maladies chroniques et à ceux qui vivent dans les régions éloignées et nordiques.

Le groupe d'experts suggère que l'Agence spatiale canadienne et ses partenaires nationaux travaillent à assurer au Canada un rôle de leader en prestation de soins de santé aux astronautes dans l'espace lointain avant le début des missions d'exploration vers Mars. Il s'agit d'une vision stratégique assortie d'un objectif et d'un calendrier ambitieux.

Sachez que nos partenaires internationaux pour les projet d'exploration de Mars demanderont probablement au Canada de fournir un sous-système de prestation de soins dans l'espace lointain, contrairement à l'adoption d'un rôle de chef de file tel que nous le proposons. Nous ne recommandons pas d'aller dans cette voie, car ce serait incompatible avec les trois principes fondamentaux établis par le groupe d'experts. Bien que l'offre d'une charge utile ou d'un instrument n'occasionnerait pas de grandes dépenses, elle ne tirerait par pleinement profit de la portée et de l'envergure des travaux d'innovation en matière de soins de santé au Canada. On ne réglerait pas non plus les problèmes de prestation de soins de santé dans les régions éloignées du pays, on n'inciterait pas les jeunes professionnels canadiens à faire carrière dans le domaine spatial et on passerait à côté d'une occasion de devenir le chef de file mondial dans le domaine.



Oeuvre d'art des élèves provenant du livre d'enfants *From Blue to Red* [source: Lord Beaverbrook High School, Calgary, 2012]

PARTIE 6

CONCLUSION



Les étoiles s'alignent

Les soins de santé dans l'espace lointain, axés sur une approche centrée sur le patient, misant sur des technologies numériques et à intelligence artificielle et pouvant être utilisés sur place, au chevet, , sont un créneau nouveau pour tous les pays exerçant des activités spatiales. Aucun d'eux ne possède d'expérience poussée dans ce domaine.

Le moment est donc bien choisi pour l'Agence spatiale canadienne de chercher à devenir un chef de file dans ce créneau en émergence. Le projet de soins de santé dans l'espace lointain aurait le potentiel de mobiliser de nombreux partenaires, de favoriser les sciences fondamentales, de stimuler l'innovation et de soutenir la croissance économique.

Le gouvernement fédéral a présenté à l'occasion du Budget 2017 **le Plan pour l'innovation et les compétences** dont l'objectif est de bâtir une économie de calibre mondial axée sur l'innovation et de fournir aux Canadiens les connaissances et les compétences nécessaires afin de livrer concurrence sur la scène mondiale.

En réponse à **l'Examen du soutien fédéral aux sciences** qui proposait un plan pluriannuel visant à transformer la capacité canadienne en recherche et de redynamiser l'effort de recherche au Canada, le Budget 2018 a accordé un investissement significatif pour appuyer les chercheurs canadiens, les infrastructures de recherche et l'utilisation des données.

L'offre actuelle des programmes de recherche offerts par le gouvernement a par ailleurs été modernisée et consolidée afin de tirer pleinement parti du potentiel de collaboration entre le monde des affaires et le monde universitaire.

Les efforts des intervenants en vue de développer une **Stratégie robotique canadienne** visent à renforcer l'écosystème national en robotique et assurer que le Canada maintienne sa réputation mondiale dans ce domaine de pointe. L'Institut canadien de recherches avancées dirige en parallèle la **Stratégie sur l'intelligence artificielle** du gouvernement dont l'objectif est d'augmenter le nombre de chercheurs et de diplômés dans le domaine, tout en aidant au développement de l'écosystème national en intelligence artificielle.

Plusieurs **rapports de comités du Sénat et de la Chambre** ont fait état **des changements profonds relatifs aux soins de santé entraînés par les technologies perturbatrices** et par le rôle de l'automatisation des soins directs et indirects aux patients ainsi que des soins à domicile. Le **Cadre stratégique pour l'Arctique** présentement en cours d'élaboration par les gouvernements fédéral, territoriaux et provinciaux, les peuples autochtones et d'autres partenaires du Nord représente un changement fondamental en terme de développement de politique en étant axé sur un modèle de leadership partagé qui s'appuie sur les partenariats et la collaboration. Ce cadre vise à adresser un vaste éventail d'enjeux comme la santé, l'éducation, les infrastructures, l'emploi, l'environnement, la préparation aux situations d'urgence et la culture.

Une initiative en soins de santé pour les astronautes dans l'espace lointain s'appuierait sur les capacités canadiennes en recherche médicale et en santé, sur l'expertise en applications des systèmes médicaux, sur nos

capacités dans le domaine spatial et sur notre expertise au niveau des technologies émergentes comme l'intelligence artificielle afin de répondre aux défis communs aux Canadiens et aux astronautes par rapport à la santé et au bien-être. En lien avec la priorité du gouvernement visant à **promouvoir le vieillissement en santé et l'amélioration de l'accès aux soins de santé par la population aînée**, cette initiative assurerait par ailleurs que les approches et les technologies développées pour l'espace aident à soutenir l'indépendance des personnes aînées et des malades chroniques en leur permettant d'éviter les salles d'urgences et les hôpitaux, et d'améliorer leur qualité de vie.



Les astronautes de l'ASC [source: ASC/Adam Scotti, 2019]

Éducation et sensibilisation

En 2017, le Comité consultatif sur l'espace a consulté les acteurs concernés sur une nouvelle stratégie spatiale ambitieuse. Parmi ses six grandes conclusions, il exhorte le gouvernement à rétablir le programme d'éducation et de sensibilisation de l'ASC afin de mieux intégrer les citoyens au programme spatial et d'encourager les jeunes à poursuivre des carrières en sciences et technologies. Le projet de soins de santé dans l'espace lointain, qui ferait appel à un vaste réseau de partenaires et aux technologies du XXI^e siècle, pourrait contribuer à cet objectif.

Le projet pourrait offrir de nombreuses possibilités de développement des compétences et de carrière aux jeunes professionnels et ainsi stimuler l'économie à court terme. Par exemple, le personnel de soutien aux volets terrestre et spatial du programme (gestionnaires, instructeurs, professionnels de la santé et ingénieurs) deviendrait un atout dans la formation en médecine spatiale. Ce personnel ainsi que plusieurs éléments du volet terrestre (bancs d'essai, simulateurs) pourraient participer à la prestation de cours et de programmes menant à l'obtention d'un certificat, d'un diplôme ou d'un grade en médecine clinique pour les jeunes professionnels.

Le projet pourrait comprendre un programme d'éducation visant à susciter l'intérêt et à développer les capacités des jeunes dans les disciplines des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques, ce qui stimulerait l'économie de demain. Le système d'éducation du Canada est reconnu dans le monde entier pour la qualité de ses élèves dans ces domaines. Dans le rapport 2016 de l'OCDE intitulé *Programme international pour le suivi des acquis des élèves*, on a évalué les compétences

scolaires des élèves du monde entier. Parmi 72 pays, le Canada se classait au 7^e rang en sciences, en lecture et en mathématiques et parmi les 10 premiers au monde dans toutes les autres catégories.

Le bilan scolaire des peuples autochtones du pays est cependant moins reluisant. Le taux d'obtention du diplôme d'études secondaires chez les jeunes Autochtones est deux fois moins élevé que chez les autres jeunes. Les Autochtones sont également moins susceptibles de poursuivre et de terminer des études postsecondaires que leurs pairs non autochtones, et le taux de chômage des Autochtones est le double de celui des ménages non autochtones.

Il y a beaucoup à faire parmi ces populations vulnérables, tant en milieu urbain qu'en milieu rural. Le projet, assorti d'un programme d'apprentissage par l'expérience culturellement adapté, a le potentiel de rehausser les compétences en science, technologie, ingénierie et mathématiques; l'esprit communautaire et l'épanouissement dans ces collectivités. L'ASC et ses partenaires en soins de santé pourraient collaborer avec d'autres populations démographiques (jeunes femmes, jeunes immigrants, ménages à faible revenu et régions pauvres) pour créer un cadre de formation interdisciplinaire et pratique. Ceci offrirait l'occasion pour les astronautes, les médecins et les ingénieurs biomédicaux de partager leur passion d'apprendre et de réaliser son plein potentiel dans une carrière en science, technologie, ingénierie ou mathématiques.



Oeuvre d'art des élèves provenant du livre d'enfants *From Blue to Red* [source: Lord Beaverbrook High School, Calgary, 2012]

L'exploration d'abord



Shooting the Rapids 1879 par Frances Anne Hopkins

Le projet de soins de santé dans l'espace lointain pourrait inclure un volet de sensibilisation publique qui inspire les Canadiens et ravive le goût de découvrir et d'innover dans tout le pays. Tout en apportant des avantages socioéconomiques tangibles (perfectionnement des compétences, développement de l'économie et des soins de santé), le projet mettrait l'exploration à l'avant-plan.

Le Canada doit son existence à l'esprit de découverte, à la créativité et à l'innovation des explorateurs autochtones et des premiers visiteurs comme David Thompson, sir Alexander Mackenzie et La Vérendrye. Comme les pionniers et les colons qui ont suivi, ils ont forgé notre esprit d'explorateurs et jeté les premières bases de notre économie. Des siècles plus tard, les Canadiens continuent d'en profiter.

Ce sont toutefois des qualités qui s'érodent à l'ère de l'économie de l'information et avec la sédentarité de la société d'aujourd'hui. Nous devons mettre fin à cette tendance. Les récits passionnants des explorateurs, le drame humain de la découverte et la poursuite de rêves impossibles captivent l'attention et l'imaginaire des gens.

Nous devons inspirer la génération d'aujourd'hui de la même manière que les baby boomers ont été animés par les rêves audacieux de l'ère Apollo. En se donnant un rôle stimulant dans le domaine des soins de santé dans l'espace lointain, le Canada ouvre la porte à une nouvelle ère stimulante et source de transformation sociale.

Le mot de la fin

Les soins de santé dans l'espace est un domaine extrêmement vaste. Bon nombre de sujets que le groupe d'experts considère comme étant pertinents demeurent inexplorés. Cependant, le peu de temps dont nous disposons a été suffisant pour nous convaincre que la recherche clinique faisait partie des plus grandes contributions scientifiques du Canada dans le monde. Cette expertise pourrait être appliquée à l'exploration de l'espace, ce qui serait bénéfique pour le Canada sur d'autres fronts.

Le groupe d'experts s'est penché sur la nature et les motifs d'un projet de soins de santé pour astronautes dans l'espace lointain. Il faudrait maintenant étudier la chose avec attention pour la définir en détail (autrement dit la manière), puis déterminer les investisseurs et participants (autrement dit les acteurs concernés) à mobiliser dans un réseau de collaboration.

Nous envisageons une initiative nationale à partenaires multiples. Aucune organisation au Canada n'a l'expérience ou les ressources nécessaires pour agir seule. Un consortium représentant les entités politiques compétentes, les fournisseurs de soins de santé et les patients, les établissements de recherche, les gouvernements, les organismes à but lucratif, les organisations de jeunesse, les organismes sociaux et les organismes d'innovation pourrait élaborer des options à présenter au gouvernement et concevoir les concepts pour les volets terrestre et spatial du projet.



La peinture *Birth of Life* de Bill Helin représente la légende tsimshienne de la création humaine



Remerciements

Le groupe d'experts reconnaît l'appui de nombreuses personnes qui ont contribué à nos débats et à la rédaction du présent rapport.

Nous désirons remercier le personnel de la Direction des politiques de l'Agence spatiale canadienne (ASC) qui a offert des services de secrétariat au groupe d'experts et à ses membres.

Mary Preville, directrice générale de la Direction des politiques de l'ASC, responsable de l'ensemble du mandat et des activités du groupe d'experts, était notre principal point de liaison avec le reste de l'agence. Nous avons apprécié ses conseils et sa perspicacité. Nous remercions Maja Djukic, directrice générale des Programmes majeurs, qui a supervisé sans relâche toutes les questions administratives et logistiques de notre groupe. Elle sait relever les défis de taille!

Nous remercions Nada Fadol (analyste), Frédéric Pilote (coordonnateur principal des politiques) et les autres membres du personnel de la Direction des politiques qui ont contribué à la planification des réunions et organisé les transports.

Nous remercions également le réseau de centres d'excellence AGE-WELL pour son aide dans la rédaction du rapport.

Groupe d'experts sur les rôles potentiels que pourrait jouer le Canada en matière de santé et d'activités biomédicales dans le cadre des vols habités dans l'espace lointain

Notre groupe d'experts était composé de 14 membres provenant d'une multitude de régions, secteurs et disciplines des milieux canadiens de la santé, des technologies et des vols spatiaux :

- établissements de soins de santé;
- associations industrielles;
- organisations spécialisées dans les soins médicaux à distance et les soins médicaux pour les Autochtones;
- établissements d'enseignement et de recherche;
- anciens médecins-astronautes.

Les membres ont été choisis en fonction de l'expertise technique, de la richesse des perspectives et des réseaux professionnels existants. Collectivement, nos compétences, nos connaissances et notre expérience ont contribué au mandat général du groupe.

Robert Thirsk, Cmdt, O.B.C., M.D.C.M., M.B.A., LL.D. (hon.), M. Sc. (président), chancelier émérite, Université de Calgary; ancien astronaute, Agence spatiale canadienne (Ottawa, Ontario)

Evan Adams, M.D., maîtrise en santé publique, médecin hygiéniste en chef, Autorité sanitaire des Premières Nations (West Vancouver, Colombie-Britannique)

Mark Casselman, M. Sc., président-directeur général, Digital Health Canada (Toronto, Ontario)

Jacques Corbeil, Ph. D., professeur et titulaire de la Chaire de recherche du Canada en génomique médicale, Université Laval (Québec, Québec)

Diane Côté, B.A., présidente-directrice générale, MEDTEQ, consortium de recherche et d'innovation en technologies médicales du Québec (Montréal, Québec)

David Hart, Ph. D., professeur à la Cumming School of Medicine, au McCaig Institute for Bone & Joint Health, au Human Performance Laboratory au programme de cycles supérieurs en génie biomédical, Université de Calgary (Calgary, Alberta)

Yves Joanette, Ph. D., professeur en neurosciences cognitives et vieillissement à la Faculté de médecine de l'Université de Montréal; directeur scientifique de l'Institut du vieillissement des Instituts de recherche en santé du Canada (Montréal, Québec)

Brian Lewis, B. Sc., B.A.A., président-directeur général, MEDEC, entreprises canadiennes de technologies médicales (Toronto, Ontario)

Linda Maxwell, M.D., M.B.A., FRCSC, FACS, ICD.C, fondatrice et directrice générale, Biomedical Zone; professeure auxiliaire, Université de Toronto; professeure invitée émérite, Université Ryerson (Toronto, Ontario)

Ivar Mendez, M.D., Ph. D., FRCSC, FACS, FCAHS, professeur et chef du département unifié de chirurgie Fred H. Wigmore, Université de la Saskatchewan (Saskatoon, Saskatchewan)

Alex Mihailidis, Ph. D., ing., directeur scientifique du Réseau de centres d'excellence AGE-WELL; professeur à l'Université de Toronto et titulaire de la chaire Barbara G. Stymiest en recherche sur les technologies de réadaptation au Toronto Rehabilitation Institute-University Health Network (Toronto, Ontario)

Anne Snowden, B. Sc. en soins infirmiers, M. Sc., Ph. D., FAAN, professeure et titulaire de la chaire du Réseau d'innovation pour la santé mondiale; directrice scientifique et présidente-directrice générale de SCAN Health, une initiative de soutien international pour le transfert des connaissances – Réseaux de centres d'excellence, Université de Windsor (Windsor, Ontario)

Teodor Veres, Ph. D., agent principal de recherche et chef de section des appareils bio-analytiques micro-nano, Conseil national de recherches du Canada; professeur auxiliaire, universités McGill et Laval, INRS-EMT (Montréal, Québec)

David Williams, Cmdt, O.Ont., M. Sc., M.D., C.M., FCMF, FCRMCC, LL.D. (hon.), D. Sc. (hon.), président-directeur général, Exploration Incorporated; ancien astronaute, Agence spatiale canadienne; ancien président-directeur général, Southlake Regional Health Centre (Oakville, Ontario)

Employés de l'Agence spatiale canadienne affectés au projet

Secrétariat des
Politiques :

Mary Preville, directrice générale des Politiques
Maja Djukic, directrice exécutive des Programmes majeurs
Frédéric Pilote, coordonnateur principal des politiques
Nada Fadol, analyste

Avec l'aide des
personnes sui-
vantes :

Annie Martin, agente de projet – Médecine spatiale opérationnelle
Isabelle Tremblay, directrice – Astronautes, sciences de la vie et médecine spatiale.
Nicole Buckley, scientifique en chef, Sciences de la vie et utilisation de la SSI
Linda Dao, analyste de recherche, Politiques

Mandat et démarche du groupe d'experts

Les agences spatiales gouvernementales du monde entier se sont réunies pour étudier la prochaine étape de l'exploration spatiale humaine au cours des prochaines décennies. Bien qu'ils n'aient pas encore été officiellement approuvés à l'échelle internationale, des concepts opérationnels commencent néanmoins à émerger.

Les agences partenaires de la Station spatiale internationale sont désireuses de collaborer de nouveau pour franchir les prochaines étapes de l'exploration spatiale habitée au-delà de la SSI. Le Canada, à titre de partenaire, a été consulté pour ses idées techniques et ses suggestions de programmes et sera bientôt sollicité pour des contributions de matériel, de services et de ressources.

C'est dans ce contexte que le gouvernement du Canada a demandé à l'Agence spatiale canadienne de mobiliser les entreprises et le milieu de la recherche et d'étudier les rôles du Canada en exploration habitée. La contribution du Canada pourrait se faire dans cinq domaines stratégiques :

- la robotique;
- les systèmes de navigation relative et de vision;
- la mobilité pour l'exploration planétaire;
- les télécommunications;
- les technologies de la santé et biomédicales.

Par conséquent, l'ASC a entrepris une série d'études et d'activités de développement technologique dans chacun de ces cinq domaines. L'objectif est d'élaborer des options qui représenteraient un domaine où le besoin d'un partenariat international est manifeste et qui génèreraient des avantages socioéconomiques pour le Canada et la population canadienne.

L'ASC a nommé un groupe de travail externe de 14 membres dont la composition, diversifiée, multidisciplinaire, forte de réseaux variés et possédant une vaste expérience des systèmes de santé canadiens, est unique. Ce groupe avait pour fonction d'étudier le rôle que pourrait jouer le Canada dans les technologies biomédicales et de santé des astronautes. Connu sous le nom de *groupe d'experts sur les rôles possibles que pourrait jouer le Canada en matière de santé et d'activités biomédicales pour les vols habités dans l'espace lointain*, le groupe d'experts a été mandaté par l'ASC afin de fournir des conseils sur la détermination, la portée et l'évaluation des contributions biomédicales possibles et des rôles de chef de file du Canada relativement aux questions de soins de santé en appui aux missions habitées dans l'espace lointain. L'annexe C du présent document contient le mandat du groupe d'experts. L'annexe B en présente les différents membres.

Notre groupe d'experts s'est réuni sept fois entre septembre 2017 et janvier 2018 pour des consultations et des conversations avec des chefs de file dans les domaines de la santé, de l'espace et de l'innovation, ainsi qu'avec quelques experts internationaux. Ce fut une expérience enrichissante.

Les échanges et les notions acquises portaient sur les points suivants :

- le programme spatial canadien;
- les questions liées au rendement et aux activités de l'équipage lors de missions dans l'espace lointain;
- les questions liées à la prestation des soins de santé au Canada;
- l'état du secteur des soins de santé et de l'innovation au Canada;
- les aspirations et les perspectives de carrière de nos jeunes.

L'annexe D présente une liste complète des conférenciers et des sujets qui ont été présentés au groupe d'experts.

En plus des orientations officiellement énoncées dans le mandat, le président de l'ASC a informé le groupe d'experts que la contribution canadienne à l'exploration spatiale devait être visible, essentielle, de portée adaptable et abordable. De plus, toute nouvelle initiative entreprise par l'ASC devrait :

- miser sur les forces actuelles du Canada et les mettre en valeur;
- procurer des avantages tangibles aux Canadiens;
- avoir des retombées commerciales pour les entreprises;
- offrir des emplois de qualité pour la classe moyenne;
- inclure un volet d'éducation pour susciter l'intérêt des jeunes et développer leurs capacités dans les disciplines de science, de technologie, d'ingénierie et de mathématiques;
- inclure un volet de sensibilisation du public qui soit inspirant pour la population canadienne.

À la suite de ses consultations et délibérations, le groupe d'experts devait présenter au président de l'ASC ses conclusions et ses recommandations quant au rôle que pourrait jouer le Canada dans le domaine des soins de santé dans l'espace lointain dans un rapport officiel (le présent rapport).

Nous désirons souligner que notre groupe d'experts n'était pas associé au Comité consultatif sur l'espace.

Consultations du groupe d'experts auprès des intervenants

Le groupe d'experts s'est réuni sept fois de septembre 2017 à janvier 2018. Au cours de la plupart de ces réunions, nous nous sommes entretenus avec des dirigeants nationaux et quelques experts internationaux. Nous avons eu droit à des séances d'information sur les notions essentielles de la part d'experts et de décideurs de l'Agence spatiale canadienne et du groupe d'experts lui-même. Des cadres et des gestionnaires d'autres ministères ainsi que d'éminents intervenants du secteur privé et du milieu universitaire ont également fait des exposés sur des sujets liés aux vols habités, aux soins de santé et à l'innovation.

Ci-dessous se trouve une liste des présentateurs et des thèmes qui ont été abordés.

Lundi 18 septembre 2017 – Saint-Hubert, Québec (en personne)

Sylvain Laporte (président de l'ASC) – Le programme spatial canadien et les priorités du gouvernement du Canada

Gilles Leclerc (directeur général de l'ASC – Exploration spatiale) et Yves Gonthier (ingénieur principal de l'ASC – Planification stratégique de l'exploration spatiale) – Survol de l'exploration spatiale internationale

Isabelle Tremblay (directrice de l'ASC – Astronautes, sciences de la vie et médecine spatiale) – Les humains dans l'espace : une introduction

Nicole Buckley (scientifique en chef de l'ASC – Sciences de la vie et utilisation de la SSI) – Planification des vols habités pour l'avenir et sciences de la santé

Annie Martin et **Natalie Hirsch** (agentes de projet de l'ASC – Astronautes, sciences de la vie et médecine spatiale) – Systèmes de soins de santé des équipages de la SSI

Dave Williams (président-directeur général de l'hôpital régional Southlake et ancien astronaute de l'ASC) – Expériences en orbite et points de vue des astronautes sur les soins de santé dans l'espace lointain

Mardi 19 septembre 2017 – Saint-Hubert, Québec (en personne)

David Haight (économiste en chef de l'ASC) – Aperçu des tendances mondiales et nationales dans le secteur spatial

Bill Paloski (directeur, programme de recherche sur les humains de la NASA) – Survol du programme de recherche sur les humains

Jennifer Mindock (scientifique en intégration stratégique de la NASA/ingénieure des systèmes) – Santé et rendement des équipages – Intégration aux missions spatiales lointaines

Raffi Kuyumjian (médecin de vol de l'ASC) – Questions et réponses sur la santé et le rendement des équipages

Mardi 17 octobre 2017 (téléconférence)

Yves Joanette (directeur scientifique, Institut du vieillissement des IRSC) et Alex Mihailidis (directeur scientifique du Réseau de centres d'excellence AGE-WELL) – L'état et les besoins de la médecine gériatrique et des soins chroniques

Ivar Mendez (professeur et chef du département unifié de la chirurgie, Université de la Saskatchewan) – L'état et les besoins de la médecine rurale, nordique et éloignée

Jacques Corbeil (professeur de médecine moléculaire et Centre de recherche en données massives, Université Laval) – Un écosystème fonctionnel pour un projet de soins de santé aux astronautes

Vendredi 27 octobre 2017 – Toronto, Ontario (en personne)

Diane Côté (présidente-directrice générale, MEDTEQ) et Brian Lewis (président-directeur général, MEDEC) – L'état et les capacités du secteur canadien des technologies médicales

Evan Adams (médecin hygiéniste en chef, Autorité sanitaire de la santé des Premières Nations) – La santé des Autochtones en Colombie-Britannique

Don Brooks (membre du Comité d'experts sur l'état de la science et de la technologie et de la recherche-développement industrielle au Canada 2017 et professeur de pathologie et de chimie, Université de la Colombie-Britannique) – Le point sur les données préliminaires sur le rendement de la recherche et la réputation internationale du Canada

Chantelle Dubois (Space Generation Advisory Council et étudiante de premier cycle en génie informatique, Université du Manitoba) – La prochaine génération d'explorateurs spatiaux : ressources humaines et offres d'emploi

Mercredi 15 novembre 2017 (téléconférence)

Mark Casselman (président-directeur général, Digital Health Canada) – La santé numérique au Canada

Iain Christie (vice-président exécutif, Association des industries aérospatiales du Canada) – Les capacités du secteur canadien de l'aérospatiale

Mercredi 29 novembre 2017 (en personne)

Pascal Michel (administrateur scientifique en chef, Agence de la santé publique du Canada) – L'espace et la santé mondiale

David Naylor (professeur de médecine et président émérite, Université de Toronto) – L'état de l'innovation en soins de santé – L'avenir (2027) des soins de santé et de la médecine clinique

Vendredi 8 décembre 2017 (téléconférence)

Ziad Kobti (professeur et directeur de la School of Computer Science, Université de Windsor et président de l'Association canadienne pour l'intelligence artificielle au Canada) – Survol de l'intelligence artificielle dans le domaine de la santé au Canada

Jack Stuster (chercheur principal à la NASA, Anacapa Sciences, Santa Barbara) – Considérations relatives au rendement humain pour les missions dans l'espace lointain et pendant l'isolement et le confinement

Terminologie, acronymes et abréviations

Le groupe d'experts sur les rôles possibles que pourrait jouer le Canada en matière de santé et d'activités biomédicales pour les vols habités dans l'espace lointain doit probablement avoir fracassé le record du nom de groupe de travail le plus long. C'est pourquoi nous nous sommes nommés sous notre forme abrégée, le *groupe d'experts*, dans le rapport.

Voici les termes, acronymes et abréviations utilisés dans le rapport qui nécessitent une définition :

ASC	Agence spatiale canadienne
CAC	Conseil des académies canadiennes
Dépistage dans les points de service	Tests de diagnostic médical effectués à l'extérieur du laboratoire clinique, peut-être même au chevet du patient
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
SSI	Station spatiale internationale

