



La Stratégie mondiale d'exploration

Le Cadre de coordination

Mai 2007

Un document rédigé par :

**ASI (Italie), BNSC (Royaume-Uni), CNES (France), CNSA (Chine), ASC (Canada),
CSIRO (Australie), DLR (Allemagne), ESA (Agence spatiale européenne), ISRO (Inde),
JAXA (Japon), KARI (République de Corée), NASA (États-Unis),
NSAU (Ukraine), Roscosmos (Russie)**

Résumé

L'exploration spatiale enrichit et consolide l'avenir de l'humanité. La quête de réponses à diverses questions fondamentales, telles que « D'où venons-nous? », « Quelle est notre place dans l'univers? » et « Quel est notre destin? » peut aider les nations à travailler ensemble à une cause commune, à faire jaillir de nouvelles connaissances, à inspirer les jeunes et à stimuler l'innovation technique et commerciale partout sur Terre.

La Stratégie mondiale d'exploration est la clé qui permet de tirer profit de ces avantages.

L'une des caractéristiques les plus fondamentales de l'être humain est sa curiosité insatiable qui le pousse à sonder l'inconnu. Tout au long de notre histoire, nous avons poussé l'exploration à l'extérieur de nos frontières physiques pour percer les mystères de ces autres territoires.

Animés par un irrésistible désir d'explorer, de comprendre et d'utiliser les ressources du monde dans lequel nous vivons, nous avons parcouru les continents et les océans de notre planète. Nous en avons sondé les confins – les pôles glacés, la profondeur des océans et la haute atmosphère.

Avec une détermination sans cesse croissante, nous avons décidé d'explorer nos voisins immédiats, soit la Lune, Mars et certains astéroïdes proches. Nous ne cherchons pas simplement à faire des visites éclair, mais plutôt à établir au-delà de la Terre une présence humaine durable et, éventuellement autonome, appuyée par des robots éclaireurs.



Des membres d'équipage utilisent un véhicule d'exploration pressurisé pour effectuer des activités de téléopération. (Image : JSC/NASA)

L'exploration spatiale durable est un défi qu'aucune nation ne peut entreprendre seule. C'est la raison pour laquelle quatorze agences spatiales¹ ont élaboré la Stratégie mondiale d'exploration : le Cadre de coordination. Cette stratégie présente une vision de l'exploration spatiale par les robots et les humains, vers des destinations à l'intérieur de notre système solaire où nous pourrions un jour vivre et travailler. Elle propose un plan d'action visant le partage et l'échange des stratégies et des initiatives des nations individuelles de sorte que toutes puissent atteindre leurs objectifs d'exploration plus efficacement et en toute sécurité.

Ce cadre ne propose pas un programme global unique, mais recommande plutôt un Mécanisme de coordination internationale à participation volontaire et non contraignant grâce auquel les nations peuvent s'associer pour consolider leurs projets individuels et leurs efforts collectifs.

Des initiatives scientifiques et technologiques bien étoffées, comme l'exploration de l'espace, permettent aux nations de mieux se définir et de déterminer la place qu'elles occupent dans le monde. Le nombre des pays qui participent à l'exploration spatiale croît de façon constante, tandis que nous entrons dans une nouvelle ère d'importance historique qui verra la présence de l'être humain s'étendre au-delà de l'orbite terrestre, tant sur le plan physique que culturel.

La Lune est notre objectif premier et le plus rapproché. En tant que gardienne de l'histoire de notre système solaire depuis plus de quatre milliards d'années, la Lune offre un énorme potentiel scientifique. Elle est également une base à partir de laquelle nous étudions la Terre

¹ Par ordre alphabétique : ASC (Canada), ASI (Italie), BNSC (Royaume-Uni), CNES (France), CNSA (Chine), CSIRO (Australie), DLR (Allemagne), ESA (Agence spatiale européenne), ISRO (Inde), JAXA (Japon), KARI (République de la Corée), NASA (États-Unis d'Amérique), NSAU (Ukraine), Roscosmos (Russie). On entend par « agences spatiales », les organismes gouvernementaux chargés de la réalisation des activités spatiales.

et l'univers et nous préparons les humains et les machines à repousser encore plus loin les frontières de l'espace.

La planète Mars est également une de nos cibles de choix. Dotée d'une atmosphère et d'eau, Mars pourrait dissimuler de nombreux secrets sur l'évolution de la vie dans notre système solaire. En définitive, nous espérons un jour atteindre d'autres destinations encore plus stimulantes, comme les astéroïdes et les lunes des planètes géantes du système solaire.

L'établissement d'un partenariat entre les humains et les robots assurera le succès de tels projets. Les engins robotisés sont nos éclaireurs et nos représentants; ils s'aventurent les premiers dans des milieux hostiles pour recueillir des renseignements essentiels à l'exploration spatiale humaine. Les êtres humains les suivront, apportant avec eux leur ingéniosité, leur créativité et leurs compétences en matière de résolution de problèmes.



Mosaïque d'ensemble de la planète Mars (Photo : Banque d'images de la NASA/NSSDC)



Des astronautes et des robots travaillent ensemble. (Image : *The Vision for Space Exploration*. NASA/Vision en matière d'exploration spatiale. NASA)

De cette stratégie mondiale d'exploration découleront d'importants avantages sociaux, intellectuels et économiques pour tous les peuples de la Terre. Nous approfondirons nos connaissances sur l'évolution du système solaire et nous apprendrons à nous protéger de diverses conditions rigoureuses. En comprenant mieux comment les planètes évoluent, nous enrichissons notre connaissance de la Terre, notre planète. Les technologies qui seront issues de nos travaux contribueront à la durabilité de la société.

L'exploration spatiale s'accompagne également de très intéressantes occasions commerciales puisqu'elle crée une demande pour de nouvelles technologies et de nouveaux services. Ces progrès entraîneront une expansion économique et la création de nouvelles entreprises.

Enfin, cette nouvelle ère d'exploration spatiale renforcera les partenariats internationaux grâce à la mise en commun des défis et des objectifs pacifiques. Elle sera une source d'inspiration pour les gens de partout, et particulièrement pour les jeunes. L'exploration spatiale pourrait amener de nombreux étudiants à s'orienter vers une carrière en sciences et en technologies et leur assurer des emplois stimulants qui favorisent l'innovation et la créativité.

De telles occasions se présentent rarement à nous. La migration de l'humain vers l'espace en est encore à ses premiers balbutiements. Dans l'ensemble, notre terrain d'exploration se limite à quelques kilomètres au-dessus de la Terre; c'est un peu comme si nous campions dans notre propre cour arrière.

Il est temps de passer à l'étape suivante.

Chapitre 1

Stratégie mondiale d'exploration : le Cadre de coordination

L'exploration spatiale est essentielle à l'avenir de l'humanité. Elle peut aider à trouver des réponses aux questions fondamentales, comme « D'où venons-nous? », « Quelle est notre place dans l'univers? » et « Quel est notre destin? ». Elle peut aider les nations à travailler ensemble à une cause commune, à faire jaillir de nouvelles connaissances, à inspirer les jeunes et à stimuler l'innovation technique et commerciale partout sur Terre.

La Stratégie mondiale d'exploration est la clé qui ouvre la porte de l'avenir.

Notre curiosité nous pousse à *explorer*, à *comprendre* et à *utiliser* les ressources du monde dans lequel nous vivons. Les voyages exploratoires et la découverte sont des signes évidents de vigueur culturelle. Toute société florissante a su regarder au-delà de ses propres horizons, vers de nouveaux ailleurs.

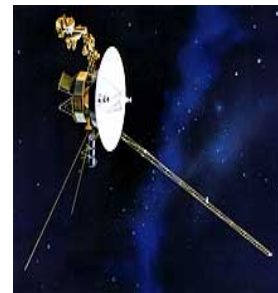
Les faits scientifiques permettent de croire que les premiers humains modernes sont apparus en Afrique antique, puis ont peuplé l'Eurasie, il y a environ un million d'années. Il se pourrait que des peuples primitifs aient construit des radeaux pour traverser les océans.

Au cours du millénaire qui a suivi, les humains ont émigré vers tous les continents. Les explorateurs et les aventuriers sont partis les premiers, en affrontant les risques inhérents à l'inconnu et aux conditions hostiles. Les chercheurs et les commerçants ont suivi, puis ce sont les gens ordinaires qui se sont déplacés pour créer des établissements permanents.

La migration des humains vers l'espace constitue le prochain chapitre de l'histoire de l'exploration et de l'expansion. Le mouvement est, somme toute, très récent si l'on considère que moins de 50 années se sont écoulées depuis que les premiers humains se sont aventurés en dehors des limites terrestres vers le nouvel océan qu'est l'espace. Et nous ne sommes pas tellement éloignés de notre Terre. Depuis le vol de Youri Gagarine en 1961, la quasi-totalité des 450 explorateurs humains qui se sont rendus dans l'espace sont demeurés à quelques centaines de kilomètres au-dessus de la surface terrestre. Seules les deux douzaines d'astronautes du programme Apollo ayant foulé le sol lunaire, entre 1968 et 1972, ont dépassé ces limites.

Même si nous avons à peine amorcé ce nouveau voyage exploratoire, nous possédons déjà les nouvelles compétences requises pour vivre et travailler dans l'espace, que nous y allions nous-mêmes ou que nous y envoyions des engins robotiques à notre place².

À ce jour, nos représentants robotisés sont les seuls à avoir exploré les zones les plus éloignées et les plus inhospitalières au-delà de l'orbite basse terrestre. Ils ont assuré notre fragile « présence virtuelle » dans le système solaire. Et ce n'est que maintenant que Voyager 1, la sonde lancée en 1977 à avoir effectué le plus long voyage spatial, s'apprête à quitter le système solaire pour toujours.



Voyager 1 demeure l'engin spatial à s'être aventuré le plus loin de la Terre au sein du cosmos. (Image : JPL/NASA)

Dans l'intervalle, nous avons exploité l'orbite terrestre au profit de la société, en lançant des satellites pour assurer des services mondiaux de télécommunications, de navigation et de

² Certains préfèrent l'expression « automatique » à l'expression « robotique », mais les deux sont interchangeables.

surveillance environnementale, pour produire des prévisions météorologiques fiables et pour venir en aide aux organismes d'intervention d'urgence en cas de catastrophes naturelles.

La présente **Stratégie mondiale d'exploration** (GES pour *Global Exploration Strategy*) ne s'intéresse pas aux utilisations éprouvées et bien gérées de l'espace. Elle vise plutôt à tirer profit de nouvelles occasions. Elle propose une vision pour la coordination à l'échelle mondiale de l'exploration spatiale vers diverses destinations du système solaire où un jour des humains vivront et travailleront.

Elle met en place les fondements des discussions et des efforts acharnés qui mèneront à la concrétisation de cette vision. La stratégie comprend un plan d'action qui vise à coordonner les initiatives mises en œuvre pour aider les agences spatiales nationales³ à atteindre leurs objectifs d'exploration spatiale efficacement et en toute sécurité.

Le nombre des pays qui participent à l'exploration spatiale connaît une croissance constante. Misant sur nos connaissances acquises, nous n'avons jamais été aussi aptes, dans l'ensemble, à atteindre nos objectifs de nature scientifique, technologique et humaine.

Nous entrons désormais dans une nouvelle vague historique d'exploration spatiale. Les États-Unis ont élaboré leur propre Vision de l'exploration spatiale, et l'Agence spatiale européenne s'est dotée du programme d'exploration spatiale Aurora. La Chine, l'Inde, le Japon et la Russie ont échafaudé d'ambitieux projets nationaux d'exploration de la Lune ou de Mars, tandis que de futures missions d'envergure nationale font l'objet de discussions au Canada, en Allemagne, en Italie, en République de Corée et au Royaume-Uni.

Le monde s'est émerveillé de voir les astronautes de plusieurs pays construire la Station spatiale internationale, sans doute l'un des plus ambitieux projets scientifiques et technologiques entrepris à ce jour. Il a vu la Chine devenir le troisième pays à envoyer ses propres astronautes dans l'espace.

Sur le plan de la robotique, la sonde Huygens a mis au jour un nouveau monde de vallées fluviales et de montagnes sous l'épaisse couche atmosphérique qui enveloppe Titan, la principale lune de Saturne. L'engin spatial Hayabusa s'est posé sur l'astéroïde Itokawa afin de recueillir des échantillons à rapporter sur Terre, annonçant ainsi une nouvelle ère de voyages exploratoires aller-retour dans l'espace interplanétaire.

La coopération bilatérale et multilatérale entre les puissances spatiales a rendu possible la majorité des réussites obtenues à ce jour et continuera de les favoriser dans l'avenir. Jamais auparavant avons-nous eu une stratégie unique et complète d'exploration spatiale qui permet de coordonner les plans existants et d'en élaborer de nouveaux.



L'engin spatial Hayabusa de l'Agence spatiale japonaise JAXA. (Image : JAXA)

Le **Cadre de coordination** de la Stratégie mondiale d'exploration, établi par 14 agences spatiales, marque un nouveau départ. Les discussions internationales tenues en 2006 se sont traduites par un ensemble commun de thèmes d'exploration spatiale, qui sont décrits dans le présent document. Le cadre plaide en faveur d'un forum à participation volontaire et non contraignant (le **Mécanisme de coordination**) où les nations peuvent mettre en commun leurs plans d'exploration spatiale et collaborer dans le but de renforcer à la fois leurs projets nationaux et les initiatives collectives.

En tant que mécanisme à participation volontaire, le processus de coordination accueille tous les nouveaux participants. Chacun apportera ses propres points de vue et compétences et, en échange, bénéficiera d'un accès à la connaissance et à l'expérience des autres participants.

Le Cadre de coordination *ne propose pas* un programme unique, il tient plutôt compte du fait que les activités individuelles d'exploration spatiale peuvent être plus productives si elles font l'objet d'une coordination et d'une coopération. Les nations associent à leurs activités spatiales

³ On entend par « agences spatiales », les représentants gouvernementaux, incluant les agences spatiales, les organismes à vocation scientifique et les groupes d'agences spatiales, désignés par leur gouvernement pour les représenter.

différents objectifs scientifiques, technologiques et sociaux et, inévitablement, certaines d'entre elles peuvent se permettre d'en faire plus que d'autres.

Dans un avenir prévisible, l'exploration spatiale humaine visera principalement la Lune, Mars et les astéroïdes au voisinage de la Terre. Nous ne possédons pas encore les connaissances ou les compétences pratiques pour envoyer des humains vers d'autres destinations prometteuses, mais plus éloignées, comme Europe, la lune de Jupiter, ou Titan et Encelade, des satellites de Saturne.



Photo d'Europe prise par Voyager 2. (Photo : NASA)

Même l'exploration du premier groupe de destinations atteignables exigera tant des missions robotiques que des missions habitées d'envergure et de complexité variées. Une stratégie coordonnée aidera les nations ayant des objectifs communs à entreprendre des projets conjoints qui maximiseront le rendement de leurs investissements. Les réussites, tout comme les échecs, scientifiques et techniques de chaque projet peuvent servir à améliorer les projets subséquents.

Le Cadre de coordination préconise la mise au point d'un outil de coordination des activités d'exploration spatiale afin de renforcer la compréhension mutuelle entre les partenaires et de cerner les domaines où la coopération pourrait être bénéfique. En établissant conjointement des assises communes pour l'exploration, les planificateurs et les ingénieurs pourront s'entendre sur les mesures à prendre pour que divers éléments pratiques, comme les systèmes de communication, de contrôle, de survie et d'amarrage, puissent fonctionner ensemble. Une telle « interopérabilité » entre les véhicules spatiaux réduira les risques associés à l'exploration spatiale et pourrait assurer la sécurité des membres d'équipage en cas d'urgence mettant leur vie en danger.

Bien que l'élaboration de la Stratégie mondiale d'exploration ait été dirigée par les agences gouvernementales, le Cadre de coordination reconnaît également que l'industrie jouera un rôle de plus en plus important dans la création d'occasions économiques découlant des nouvelles frontières de l'exploration spatiale. Il est à souhaiter que les entrepreneurs proposent des services d'exploitation des ressources ou des services commerciaux de transport de cargaison et de télécommunications, par exemple. Ainsi, l'exploration spatiale deviendra plus durable et les gouvernements pourraient libérer des fonds pour repousser encore plus loin les frontières du savoir.

Les activités d'exploitation des conditions de l'orbite terrestre entreprises au cours des trente dernières années nous portent à croire que tout cela est possible. Éventuellement, diverses questions seront soulevées concernant les droits de propriété et la protection des sites d'intérêt, et le Mécanisme de coordination de la Stratégie mondiale d'exploration nous permettra d'aborder les nouveaux défis qui se poseront.

Les chapitres qui suivent présentent la raison d'être de l'exploration spatiale et sont organisés en fonction de thèmes particuliers faisant ressortir les avantages que la société peut en tirer. Le présent Cadre de coordination décrit les étapes que doit suivre l'humanité pour entreprendre cette nouvelle aventure et met l'accent sur la complémentarité des missions de robotique et des missions habitées.

Il plaide en faveur d'un retour sur la Lune, un objectif de valeur intrinsèque et un tremplin essentiel vers l'exploration de la planète Mars et au-delà. Il se dégage du cadre qu'une meilleure coordination des initiatives nationales et internationales peut renforcer l'exploration spatiale et la rendre plus abordable pour tous.

Chapitre 2

L'exploration spatiale au service de la société

L'exploration spatiale à l'échelle mondiale englobe la totalité des nombreux projets nationaux et internationaux. Elle mise également sur une volonté commune de trouver des réponses aux questions scientifiques fondamentales afin de créer de nouvelles occasions économiques et de repousser les frontières terrestres de la vie humaine. Les objectifs de l'exploration spatiale au service de la société sont intégrés aux thèmes récurrents de la Stratégie mondiale d'exploration.

Dans l'ensemble, l'humanité fait face à de nombreux défis sociaux, politiques et environnementaux qu'il faut s'empresse de relever. Dans ce contexte, la pertinence de l'exploration spatiale pour l'avenir de la société n'est pas toujours très bien comprise. Pourquoi est-elle importante? Comment l'exploration spatiale peut-elle contribuer à notre avenir commun?

L'exploration spatiale est l'expression moderne de caractéristiques profondément ancrées chez l'être humain : son insatiable curiosité et le besoin impératif de sonder l'inconnu.

C'est ainsi que nous acquérons les nouvelles connaissances et compétences qui forment notre capacité collective à résoudre les problèmes humains et à appuyer les activités commerciales de façon utile et imprévisible. L'extrême complexité de l'exploration spatiale est la source même de l'inspiration et de l'innovation de l'être humain.

On peut tirer de nombreux exemples probants des cinquante premières années d'activités spatiales. Les satellites ont révolutionné les communications et la navigation à l'échelle mondiale et ont fourni des données cruciales pour l'étude du changement climatique. La robotique, les technologies d'imagerie et les autres instruments mis au point de manière à résister aux difficiles conditions qui règnent dans l'espace ont trouvé d'importantes applications ici sur Terre, notamment les scanners de sécurité dans les aéroports et les instruments de diagnostic médical.

Dans l'avenir, un programme durable, mais abordable, d'exploration spatiale coordonnée mondialement peut profiter à la société de diverses manières :

- acquisition de nouvelles connaissances et résolution, par le biais de technologies innovatrices, de problèmes globaux qui surviennent dans l'espace et sur Terre;
- expansion permanente de la présence humaine dans l'espace, tant sur les plans physique que culturel;
- promotion de l'expansion économique et création de nouvelles occasions d'affaires;
- création de partenariats mondiaux qui mettent en commun des objectifs ambitieux et pacifiques;
- réalisation d'initiatives collectives et personnelles servant de source d'inspiration.

Ces avantages s'inscrivent dans les cinq thèmes d'exploration suivants (sans ordre de priorité) :

Thème 1 : Nouvelles connaissances en sciences et en technologie

Essentiellement, explorer, c'est prendre des risques gérables pour découvrir l'inconnu. Une grande part de ce que nous révèle l'exploration était insoupçonné au départ. D'où la difficulté de soupeser les risques par rapport au rendement des nouveaux investissements.

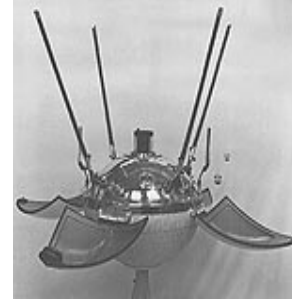
Ce problème est vieux comme l'innovation elle-même; lorsque Heinrich Hertz a conçu le premier appareil émetteur-récepteur d'ondes électromagnétiques, en 1887, il n'avait aucune

idée des grands réseaux de télécommunications d'aujourd'hui, qui se déploient à l'échelle de la planète, ni de l'activité économique à laquelle ils donneraient lieu.

L'exploration spatiale engendre de nouvelles connaissances qui nous aident à comprendre le système solaire et ses liens tant avec la biosphère de la Terre qu'avec l'immensité de l'univers. De nombreux mystères demeurent, certes, mais nous avons pris un bon départ avec les engins spatiaux robotiques, les missions habitées de courte durée vers la Lune et les séjours prolongés d'astronautes en orbite basse.

L'exploration scientifique du système solaire a commencé aux premiers jours de l'ère spatiale. Nous avons d'abord envoyé des sondes spatiales vers les corps planétaires les plus proches, soit la Lune, Vénus et Mars. Nous avons aussi étudié l'environnement spatial local pour découvrir que le champ magnétique terrestre nous protège du rayonnement nocif du Soleil et du bombardement continu de ses projections.

Ces premières missions ont grandement enrichi nos connaissances concernant chacun de ces corps célestes. Aujourd'hui, des missions plus complexes commencent à nous livrer les secrets du système solaire depuis sa formation, il y a quelque 4,5 milliards d'années.



Module d'atterrissage russe Luna-9 (Photo : Catalogue de la NASA/NSSDC : Engins spatiaux)

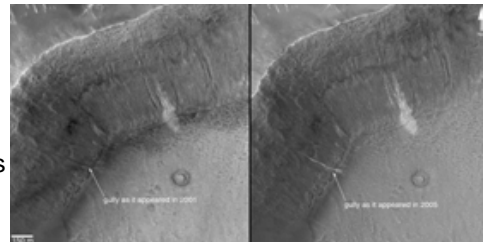
Une exploration spatiale systématique, mue par la science, révèle des vérités fondamentales sur l'histoire du système solaire et sur l'origine et la nature de la vie. Une exploration robotique et une exploration humaine sont toutes deux nécessaires pour répondre aux grandes questions qui se posent.

Une grande partie de la recherche actuelle tente de répondre à deux grandes questions : comment le système solaire s'est-il formé et existe-il de la vie ailleurs que sur Terre? Ces questions sont cruciales tant pour les scientifiques que pour les philosophes. Pour répondre à ces questions, nous nous sommes d'abord tournés vers nos planètes voisines les plus proches, à l'intérieur du système solaire.

Même si elle est souvent qualifiée de jumelle de la Terre en raison de sa taille comparable, Vénus peut difficilement être plus hostile à une forme de vie semblable à celle que l'on connaît sur Terre. Des sondes spatiales y ont constaté des conditions infernales; un réchauffement précipité de la planète a produit une épaisse atmosphère composée d'acide sulfurique suffocant et des températures assez élevées pour faire fondre le plomb. Nous allons continuer de nous intéresser à Vénus, mais il est peu probable qu'on y envoie des missions habitées.

Pour Mars, la situation est complètement différente. De nos jours, la surface de cette planète est froide et dénudée, mais tout porte à croire qu'il y eut un temps où elle était chaude et humide. Elle semble aussi posséder nombre des éléments de base essentiels à la vie, y compris le principal – l'eau. Les missions robotisées ont décelé des signes d'une activité hydrologique récente et certains scientifiques croient à la présence d'océans gelés.

Aujourd'hui, nous ne savons simplement pas s'il pourrait y avoir, s'il y a eu ou même s'il y a encore de la vie sur Mars. Mais, malgré les risques indéniables que présente sa surface inhospitalière, Mars, contrairement à Vénus, est un endroit où nous pouvons envisager de nous rendre pour chercher des réponses à nos questions.



On peut voir dans la photo ci-dessus qu'une substance semble avoir coulé dans un petit ravin une fois entre décembre 2001 et avril 2005. (Photo : NASA/JPL)

Par nécessité, les études les plus approfondies seront entreprises aux endroits les plus accessibles aux humains, là où sera possible la recherche à long terme. Mais, grâce aux robots, nous pourrions aller beaucoup plus loin. Déjà, ils ont décelé de simples molécules de carbone, qui pourraient être des précurseurs de la chimie complexe de la vie, en des lieux aussi divers que des comètes et l'épaisse atmosphère de Titan, une immense lune orbitant autour de Saturne.

Pourquoi notre constitution chimique se rapproche-t-elle davantage de celle du Soleil et des planètes géantes, comme Saturne et Jupiter, que de celle de la planète rocheuse sur laquelle nous vivons? Pour répondre à cette question, il faudra cartographier la répartition de ces substances chimiques « prébiotiques » dans l'ensemble du système solaire, ainsi que dans les planètes qui se forment autour des étoiles lointaines.

Une autre question persistante à laquelle l'exploration spatiale cherche à répondre est : comment s'est formé notre système solaire? Selon certains, la Lune serait un véritable musée de l'histoire du système solaire et elle pourrait grandement aider à remonter le cours de cette histoire.



Jupiter
(Photo : Banque d'images de la NASA/NSSDC)

De plus, si – comme on le croit – la Lune est née d'une collision cataclysmique entre un objet de la taille de Mars et la Terre primitive, il se peut que la Lune recèle des indices de ce qu'était la Terre à ses débuts. La surface de la Terre présente peu d'indices des origines ou de l'histoire du système solaire. C'est qu'elle a été plusieurs fois refaçonnée par des processus géologiques, comme des tremblements de terre, des éruptions volcaniques et l'érosion.

L'exploration spatiale d'envergure mondiale est un moteur de progrès scientifique et technique. La recherche de solutions à des problèmes stimule l'innovation et plus le problème est important, plus l'innovation est grande.

Pour explorer cet « astre-musée » qu'est la Lune, il faudra pouvoir se déplacer sur sa surface et creuser à plusieurs centaines de mètres de profondeur. Pour cela, les humains devront s'adjoindre des robots, et des techniques semblables devront être déployées sur Mars. Des carottes de glace, comme celles que nous prélevons au Groënland et dans l'Antarctique, serviront de témoins du climat passé de la planète. Quant aux masses d'eau souterraines, si elles existent, elles peuvent produire des formes de vie protégées des rayonnements et du froid de la surface.

Nous avons aussi commencé à étudier les résidus de matériaux à partir desquels le système solaire a été formé : les astéroïdes et les comètes. Notre intérêt pour ces corps célestes est à la fois scientifique, économique et pratique. En effet, nous nous intéressons à leur rôle dans la répartition des substances chimiques prébiotiques et de l'eau dans le système solaire primitif. De plus, certains croient possible de cartographier, voire d'exploiter ces objets pour leurs ressources minérales.

Mais plus important encore, nous savons que ces objets peuvent entrer en collision avec la Terre. Nous savons aussi que de telles collisions ont provoqué plusieurs extinctions massives dans le passé. Cela pourrait encore arriver. Jusqu'à maintenant, l'humanité a eu de la chance, mais cette chance pourrait tourner un jour.

Des études sont en cours pour développer le premier engin spatial capable de faire dévier de sa trajectoire un astéroïde qui menacerait la Terre. Grâce à un programme d'exploration spatiale prospère, nous posséderons les connaissances nécessaires pour nous doter de cette police d'assurance ultime. Comme l'astronome et scientifique Carl Sagan l'a déjà fait observer, les dinosaures ont disparu parce qu'ils n'avaient pas de programme spatial.

Thème 2 : Une présence durable – Repousser les frontières de l'humanité

Depuis l'apparition des êtres humains en Afrique ancienne, nous avons peuplé les régions les plus chaudes, les plus froides, les plus humides et les plus sèches de la Terre. Nos premiers pas en exploration spatiale ont déjà allongé notre portée, en tant qu'êtres humains, jusqu'aux environnements hostiles de l'orbite terrestre et de la surface de la Lune, sans parler des sondes spatiales, qui sont allées encore plus loin.

Pour les brèves sorties des astronautes d'Apollo, il fallait pouvoir assurer la survie d'êtres humains pendant quelques jours seulement sur la surface lunaire. Aucune tentative n'était faite d'établir une présence humaine à long terme ni d'exploiter les ressources locales. Grâce à des stations spatiales comme Mir et la Station spatiale internationale, nos séjours dans l'espace atteignent maintenant des mois et des années, mais ils nécessitent un appui constant de la Terre.

Aller plus loin et établir à long terme des postes avancés autosuffisants ne pourra se faire sans un engagement important de ressources humaines, scientifiques, techniques et financières.

Mais pourquoi envoyer des êtres humains dans l'espace? Pourquoi ne pas laisser les robots faire le travail? Les humains ont cette capacité unique de prendre des décisions et de réagir à des situations inédites d'après leur expérience passée et leurs connaissances. En envoyant des humains vivre et travailler dans l'espace, on tire pleinement profit du capital intellectuel et de la capacité de raisonnement en temps réel que seuls les humains possèdent. Un être humain peut rapidement repérer et resserrer un boulon desserré sur un appareil de carottage, alors qu'il faudrait des heures pour programmer un robot pour qu'il puisse faire la même chose, même s'il pouvait déceler le problème. Nous sommes bien loin d'avoir des robots capables de rivaliser avec les être humains, même au laboratoire.



Illustration conceptuelle d'une éventuelle base lunaire habitée.

(Image : Vision en matière d'exploration spatiale. NASA)

Nous savons qu'il est possible d'établir une présence humaine durable sur la Lune et qu'il est bien possible que nous puissions en extraire les ressources qui réduiraient la dépendance de ces missions à l'égard de la Terre. Les ressources sur Mars sont certainement beaucoup plus abondantes, mais la durée passablement plus longue d'un voyage vers Mars multiplie les contraintes techniques et accentue les risques, en particulier ceux liés aux rayonnements.

Avec le temps, une présence durable et autosuffisante d'humains dans l'espace permettra aussi à l'humanité de maintenir des dépôts extraterrestres des connaissances et de l'histoire humaines.

Une telle présence dans l'espace modifiera quasi certainement et en profondeur notre rapport avec la Terre, et nous fera mieux apprécier toute la richesse qui est à notre portée. Un des grands héritages laissés par le programme spatial est l'impact psychologique de l'image prise par les astronautes d'Apollo d'une Terre vivante, flottant au-dessus des plaines sans vie de la Lune, fragile et isolée dans l'immensité de l'espace.

Thème 3 : Essor économique

À ses débuts, l'activité spatiale était surtout menée par des agences spatiales nationales, mais peu à peu, le secteur privé s'est intéressé à ce domaine d'activités. Aujourd'hui, une industrie multimilliardaire met en orbite des satellites privés pour offrir la téléphonie, l'accès sans fil à Internet et la télédiffusion de grande qualité à des abonnés des quatre coins du monde.

Plus récemment, des satellites commerciaux d'observation de la Terre ont été lancés. À l'origine, les gouvernements étaient les principaux clients de ces services satellitaires, mais la clientèle de ces services a crû rapidement. D'innombrables automobilistes ont maintenant un

système de navigation par satellite dans leur voiture et n'importe qui peut accéder à des données géographiques à l'aide d'outils logiciels comme Google^{MC} Earth sur Internet.

Au cours du siècle dernier, les gouvernements ont aidé les grandes industries en investissant dans les infrastructures, comme les chemins de fer, les routes et Internet, ou en devenant les premiers clients de services comme la poste aérienne. Aujourd'hui, ces investissements rapportent gros aux trésors nationaux. Le même modèle s'applique aux services spatiaux.

Déjà, des entrepreneurs visionnaires songent à étendre leurs activités commerciales dans l'espace. L'essor de l'exploration spatiale vers la Lune et Mars offrira des débouchés aux entreprises désireuses de fournir des services de transport d'équipages et de fret, des systèmes de télécommunications et de navigation, et des moyens d'extraction et de traitement de ressources dans l'espace.

Par exemple, les roches lunaires sont riches en oxygène, lequel pourrait alimenter les systèmes de survie nécessaires aux opérations lunaires. L'oxygène liquide peut aussi être utilisé comme propergol – il pourrait d'ailleurs s'avérer plus économique de fabriquer celui-ci dans l'espace que de l'importer de la Terre.

L'exploitation minière sur la Lune pourrait aussi produire du titane – un métal résistant mais léger recherché pour les applications aérospatiales de pointe. Finalement, l'abondance notoire d'hélium-3 sur la Lune pourrait s'avérer précieuse, si jamais les réacteurs à fusion devaient se matérialiser un jour.

Le tourisme spatial commercial, tant réel que virtuel, offre aussi des débouchés potentiels. Des innovations récentes en télécommunications et en robotique ouvrent la perspective d'offrir à des clients sur Terre une « présence virtuelle » sur la Lune ou sur Mars. Pour ceux qui souhaitent vivre une expérience spatiale réelle, les vols spatiaux suborbitaux sont sur le point de devenir une réalité. Qui sait, l'avenir réserve peut-être aussi aux touristes des hôtels spatiaux orbitant autour de la Terre et des excursions vers la Lune.

Une bonne partie de la technologie nécessaire à l'exploration spatiale sera développée par le secteur privé, et celui-ci trouvera des façons inattendues d'exploiter ce savoir-faire dans l'ensemble de l'économie. Les gouvernements peuvent contribuer à ces applications en favorisant, par des moyens novateurs, les contacts entre les secteurs public et privé – des prix accompagnés de bourses, par exemple.

Pour qu'une entreprise soit suffisamment confiante pour investir, elle doit avoir la certitude d'un engagement à long terme envers l'exploration spatiale, qu'elle pourra faire accepter ses idées par le gouvernement, et que la primauté du droit sera respectée. Tout cela suppose un consensus au sujet de questions épineuses comme les droits de propriété et le transfert de technologie. Le Cadre de coordination prévu dans la Stratégie mondiale d'exploration offrira un forum où pourront être discutées ces questions importantes.



Illustration conceptuelle de véhicules télécommandés qui transportent des minéraux lunaires et les déposent dans une installation servant à en extraire, liquéfier et pomper l'oxygène dans des réservoirs de stockage. (Image : NASA/JSC)

Les défis et les contraintes qui se posent à quiconque veut accomplir des tâches dans l'espace stimulent les esprits créatifs. La plupart des ressources et des technologies développées pour le programme spatial n'existeraient probablement pas sans lui, même si le niveau d'investissement avait été le même.

L'exploration spatiale réunit des champs d'expertise variés, créant du coup de nouvelles façons de travailler. Ainsi, les compétences requises pour l'exploration spatiale, comme la capacité de construire des systèmes très complexes et de concevoir des mécanismes et des logiciels à haute fiabilité, sont maintenant mises à profit dans l'ensemble de l'économie.

Voici certaines des technologies qui posent un véritable défi pour la nouvelle ère de l'exploration spatiale :

- production et stockage efficaces de l'énergie;
- transport spatial et transport de surface;
- communications et navigation;
- soins de santé pour les explorateurs humains, y compris la télémédecine;
- fonctionnement autonome et prise de décisions intelligentes pour les robots-explorateurs;
- extraction et utilisation des ressources planétaires;
- entretien des engins spatiaux en orbite;
- coopération humain-robot;
- habitats sûrs avec système de survie et contrôle environnemental efficaces.

Ces technologies seront développées pour répondre aux contraintes que pose l'exploration spatiale, à savoir réduire la masse au minimum et assurer un fonctionnement fiable dans un environnement à niveau élevé de rayonnements. Il s'ensuit des caractéristiques qui se prêtent souvent à des applications terrestres. Par exemple, l'instrumentation robotisée développée pour la recherche de la vie sur Mars a mené à la mise au point d'un appareil portable servant au diagnostic de la tuberculose dans les pays en développement.

Nous devons assurer la survie humaine et biologique à bord des missions lointaines, en économisant les ressources et en recyclant le plus possible. Ces efforts se répercuteront dans des domaines comme la médecine, l'agriculture et la gestion de l'environnement, et contribueront aux objectifs de développement durable sur Terre.

Dans le passé, les explorateurs humains ont résolu des problèmes complexes et des incertitudes qui demandaient de fortes doses d'intelligence, d'ingéniosité et d'innovation. L'exploration spatiale de l'avenir ne sera pas différente. De nouvelles technologies et un partenariat efficace entre humains et machines seront des conditions essentielles à l'exploration et l'exploitation des surfaces planétaires, elles-mêmes essentielles au soutien des activités humaines loin de la Terre.



Entretien d'engins spatiaux en orbite : illustration de l'engin spatial Orbital express. (Image : Boeing)

Thème 4 : Un partenariat mondial

L'espace est un environnement implacable et aucun pays n'a les ressources pour affronter seul tous les défis qu'il représente. C'est ainsi que les pays qui sont des puissances spatiales collaborent depuis le début au sein de partenariats bilatéraux ou multilatéraux.

Le projet Apollo-Soyouz, dans les années 1970, est un exemple frappant non seulement de coopération technique, mais aussi de détente politique, au plus fort de la Guerre froide. L'Agence spatiale européenne, formée de 17 pays, est née du désir de créer des liens scientifiques à la grandeur du continent. Aujourd'hui, le programme de l'ESA – qui comprend l'exploration de Mars et la construction de lanceurs et de satellites météorologiques – va bien au-delà des capacités de n'importe quel pays européen à lui seul.



Arrimage des modules Apollo et Soyouz en orbite terrestre.
(Image : NASA/JSC)

Le partage des défis que représente l'exploration spatiale et le désir commun de répondre à des questions scientifiques fondamentales amènent les pays de toutes tailles à collaborer dans un esprit d'amitié et de coopération.

Le programme de la Station spatiale internationale, dont on peut dire qu'il s'agit du plus grand projet de ce type jamais entrepris, a clairement démontré la valeur d'une approche de partenariat. Les États-Unis, le Canada, l'Europe, le Japon et la Russie ont réussi ensemble ce qu'aucun pays ne pourrait avoir accompli seul – et, ce faisant, ils ont tissé entre eux des liens solides, qui se manifestent entre autres par une plus grande compréhension réciproque sur les plans culturel et politique.

Les exemples de partenariat abondent :

- L'Agence spatiale japonaise (JAXA) et la NASA ont collaboré pour l'envoi de la sonde Hayabusa sur l'astéroïde Itokawa. Elle devrait ramener les premiers échantillons de l'astéroïde sur la Terre en 2010.
- De nouveaux instruments scientifiques conçus par les États-Unis et l'Europe orbiteront bientôt autour de la Lune à bord d'un engin spatial indien.
- Les satellites de la mission chinoise Double Star explorent la relation entre le champ magnétique terrestre et le vent solaire, avec l'aide d'instruments construits en Europe.
- La Chine et la Russie planifient une mission conjointe vers un des satellites de Mars.
- Le Japon et l'Europe coopèrent à une mission vers la planète la plus proche du Soleil, Mercure.

Ces succès laissent entrevoir la possibilité de faire beaucoup plus en appliquant une stratégie mondiale d'exploration spatiale. En établissant des partenariats, les pays pourront élaborer une compréhension commune de leurs intérêts respectifs, partager les leçons apprises et ainsi éviter des erreurs coûteuses, et discuter de résultats scientifiques qui les aideront à planifier pour l'avenir.

Plus important encore, nous avons besoin d'un forum où discuter des éléments essentiels de l'exploration spatiale et de questions pratiques comme l'interopérabilité – faire en sorte que des systèmes différents puissent travailler ensemble.

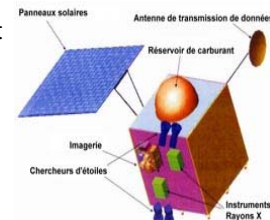


Illustration de l'engin spatial indien Chanrayaan-1.
(Photo : Organisme de recherche spatial indien ISRO)

Les normes internationales, qui font qu'un téléphone cellulaire acheté en Chine peut fonctionner au Canada, ou qu'une voiture construite en Allemagne respecte les règles de sécurité des États-Unis, sont indispensables à l'économie mondiale. Elles seront tout aussi importantes lorsque les activités humaines dépasseront les limites de la Terre. Des questions complexes, comme la protection de zones d'intérêt scientifique, peuvent surgir et être résolues avant que la route du progrès soit barrée.

En élaborant un langage commun de l'exploration spatiale, les pays sont mieux à même de faire part aux autres de leurs objectifs précis, ce qui accroît les possibilités de projets conjoints. De plus, le regroupement des investissements nationaux et la coordination des objectifs des missions permettront de mettre à profit, de renforcer et d'élargir les partenariats mondiaux existants.

L'esprit de partenariat favorisera indirectement la sécurité mondiale, en offrant aux pays une activité stimulante et pacifique, qui les unira dans la poursuite d'objectifs communs.

L'exploration spatiale est inclusive; le but est d'offrir à tous les pays et à leurs citoyens la possibilité de participer à l'exploration spatiale.

Thème 5 : Inspiration et éducation

L'exploration spatiale exerce sur nous une fascination toute particulière. Cela nous stimule et nous inspire de penser aux merveilles de l'univers dans lequel nous vivons. Partout au monde, les gens éprouvent un sentiment de fierté devant les réussites de l'exploration spatiale, et ressentent la douleur de l'échec lorsqu'une mission tourne mal.

Dans l'avenir, grâce aux nouvelles technologies de réalité virtuelle, les êtres humains seront en mesure de partager plus viscéralement que jamais auparavant l'excitation et l'émerveillement de l'exploration et de la découverte. Ils pourront réellement « être là » lorsque des êtres humains atterriront sur Mars, ou des robots sur Europe.

Une des retombées les plus marquantes de l'exploration spatiale, c'est la vision de leur avenir qu'elle inspire aux jeunes, les incitant à voir plus loin que les choix évidents. L'intérêt pour l'espace éveille beaucoup de jeunes aux carrières en sciences et en technologie et les conduit à opter pour des domaines d'études qui les mèneront vers ces professions. Les programmes d'exploration spatiale constituent aussi une source intarissable d'information pour les enseignants de toutes disciplines, qui s'en servent pour piquer la curiosité de leurs élèves.

L'exploration spatiale crée des emplois où peuvent s'exprimer de façon illimitée la créativité, l'aptitude à relever des défis et la motivation. Elle constitue un aimant puissant capable d'attirer et de soutenir de nouvelles générations de scientifiques et d'ingénieurs, dont la plupart feront carrière dans l'ensemble de l'économie.



L'espace : une source d'inspiration pour les jeunes.
(Photo : ASC)

Beaucoup de pays s'inquiètent d'un déclin de leurs talents scientifiques et techniques. Un programme d'exploration spatiale inspirant peut contribuer à renverser cette tendance.

Chapitre 3

La feuille de route de l'exploration spatiale

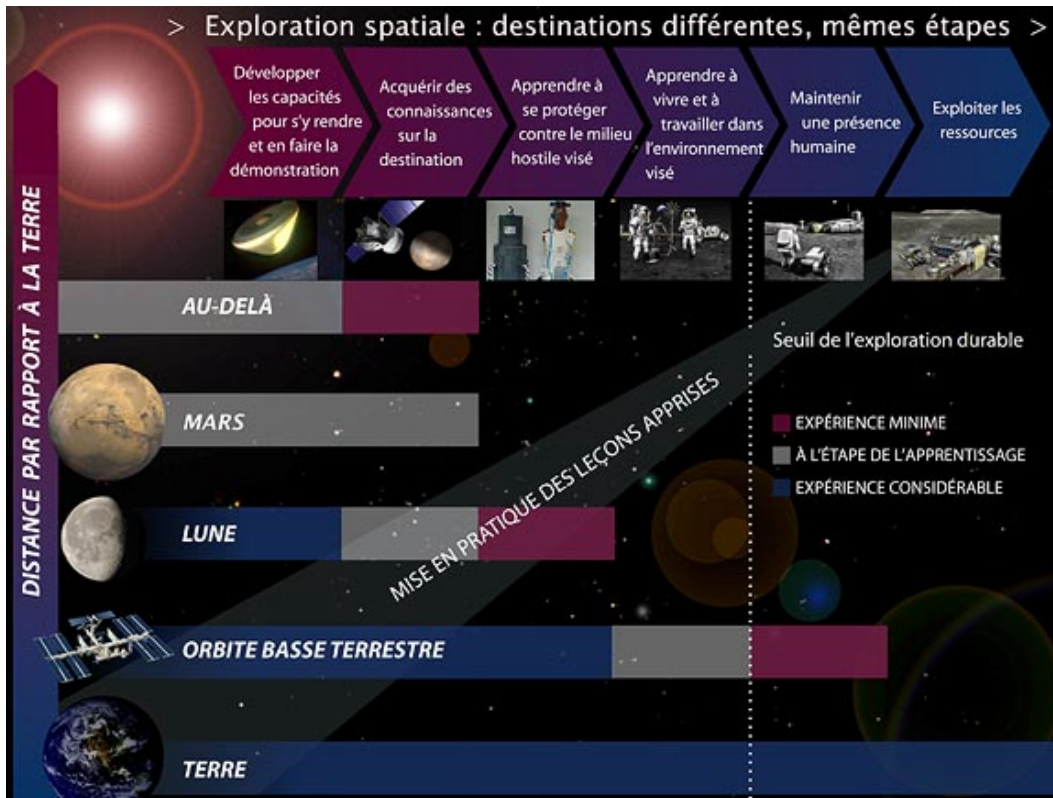
L'exploration spatiale passe par un ensemble d'étapes, qui commence par une connaissance de base et culminera, c'est du moins ce que l'on souhaite, en une présence humaine durable dans l'espace. Cette aventure sera marquée par une série de missions tant robotisées qu'humaines. La Stratégie mondiale d'exploration offre un cadre de coordination des efforts et des contributions de tous les pays, de façon que tous puissent participer aux voyages dans l'espace et en tirer profit.

Depuis le lancement du premier satellite en 1957, l'exploration spatiale a connu une lente transformation, passant de missions brèves et très spécialisées à des missions plus longues et globales.

Pendant le programme Apollo, dans les années 1960 et 1970, des humains se sont rendus sur la Lune et y ont passé moins de trois jours à chaque mission. Avec les stations spatiales comme Salyout, Skylab, Mir et la Station spatiale internationale, nous avons appris comment subsister pendant des mois dans l'espace. C'est le cosmonaute russe Valeri Polyakov qui détient le record de durée du séjour dans l'espace, ayant passé 14 mois à bord de Mir.

Riches de ces expériences, nous nous préparons maintenant à établir une présence humaine soutenue sur la Lune et, tôt ou tard, dans d'autres parties du système solaire. L'exploration spatiale à long terme dont traite le présent document est très différente de la Station spatiale internationale. Loin de se limiter à un seul projet spatial, elle comprendra plusieurs missions et projets, grands et petits, vers plusieurs destinations. De plus, même les pays non participants à l'ISS pourront faire, et font déjà, des contributions précieuses à l'exploration spatiale.

Il pourra y avoir des projets qui mettront l'accent sur certains objectifs plutôt que d'autres – par exemple, la science robotique sur Mars ou l'essai de technologies nécessaires à l'exploitation des ressources sur la Lune. Mais chaque projet appuiera ultimement le but global, qui sera de repousser, étape par étape, la frontière humaine.



Le diagramme⁴ ci-dessus montre le chemin que nous avons parcouru vers une présence humaine continue sur les astres clés du système solaire. Le trait vertical en pointillé constitue le seuil que nous devons franchir pour parvenir à explorer l'espace de façon durable. Cela ne signifie pas seulement d'affronter un nouvel environnement pendant une brève période, mais plutôt d'y vivre et d'exploiter les ressources locales avec peu ou pas de soutien terrestre.

Nous n'avons cependant pas encore atteint ce niveau d'autonomie, ni pour les missions robotiques ni pour celles habitées. Les activités que l'on mène en orbite basse s'approchent du seuil de durabilité, mais le dépassement de ce dernier constitue toujours un défi de taille, même pour les missions robotiques. Par exemple, nous possédons, sur papier, la technologie nous permettant de ravitailler en carburant des satellites de communication, mais nous n'avons pas l'infrastructure nécessaire pour le faire.

L'exploration robotique constitue la première étape clé de l'expansion de la présence humaine dans le système solaire. Plusieurs générations d'explorateurs robotiques pourraient être nécessaires pour acquérir les connaissances de base requises sur une cible planétaire précise avant qu'une mission habitée ne soit utile ou justifiée.

⁴ L'acronyme « LEO » dans le diagramme signifie « orbite basse terrestre », soit l'orbite sur laquelle évolue la Station spatiale internationale.

Nous enverrons d'abord des modules orbitaux pour cartographier depuis l'espace la surface des corps célestes visés et déterminer des sites d'atterrissage sûrs. Ces missions seront ensuite suivies de modules d'atterrissage qui auront pour mandat d'explorer directement la surface, puis de missions robotiques de retour d'échantillons grâce auxquelles des matériaux extraterrestres seront ramenés sur Terre pour être analysés en laboratoire.



Le *Mars Reconnaissance Orbiter* (satellite de reconnaissance orbitale de Mars) scrute les pôles de Mars. (Image : NASA/JPL)

Jusqu'à maintenant, nous n'avons ramené sur Terre qu'une quantité limitée d'échantillons de sols extraterrestres. Au cours de la prochaine décennie, nous pourrions approfondir nos connaissances à ce niveau grâce aux missions robotiques qui ramèneront des matériaux de certains astéroïdes et de l'un des satellites naturels de la planète Mars.



Lancement du conteneur d'échantillons de Mars et retour vers la Terre (Image : NASA)

La première mission robotique de retour d'échantillons de la surface de Mars aura vraisemblablement lieu au même moment environ où l'être humain retournera sur la Lune – cela indique dans quelle mesure cet objectif constitue un défi technique de taille.

Les sondes robotiques qui ont exploré les principaux corps célestes du système solaire ont produit des données d'une grande valeur mais, pour les astres plus éloignés (ceux qui appartiennent au volet « Au-delà » du diagramme), les connaissances cumulées jusqu'à ce jour ont été limitées par les contraintes associées à nos technologies spatiales.

Nous avons pu apercevoir le lit d'une rivière ainsi que des rochers de glace à la surface de Titan, mais nous ne savons rien sur la composition de la glace et nous ne savons pas si les rivières y coulent toujours. Nous pensons également que la glace qui recouvre Europe pourrait cacher un océan liquide, mais nous ne savons pas non plus si cet océan abrite la vie.

Ce ne sont là que les étapes préliminaires du processus qui nous permettra de mieux comprendre ces astres. Nous ne pouvons, à ce moment-ci, spéculer sur notre capacité d'y envoyer des missions habitées ni sur le moment du lancement de telles missions, le cas échéant, ou sur le type de technologies qu'il faudrait pour visiter ces endroits.

Ce tableau que nous venons de brosser sur l'exploration de l'espace montre que l'expérience acquise à une étape précise du processus rend possible l'étape suivante. Aspect tout aussi important, les avancées parallèles vers plusieurs destinations peuvent engendrer une expérience précieuse, applicable à toutes les missions. Les progrès accomplis en route vers chacune des destinations visées seront amplifiés par une coordination accrue entre les projets.

Chapitre 4

La Lune : Un deuxième chez-soi dans le système solaire

La Lune sera le premier astre autre que la Terre où les humains apprendront à vivre. À trois jours de distance de la Terre, la Lune possède une faible gravité et des ressources naturelles qui en font un endroit idéal pour préparer l'être humain et les machines en vue de l'exploration de l'espace. Véritable livre ouvert sur les quatre milliards d'années de l'histoire du système solaire, et endroit privilégié pour l'observation de la Terre et du cosmos, la Lune offre un grand potentiel scientifique. L'exploration de la Lune permettra de déterminer si les ressources disponibles dans l'espace permettront aux humains d'y vivre en autonomie.

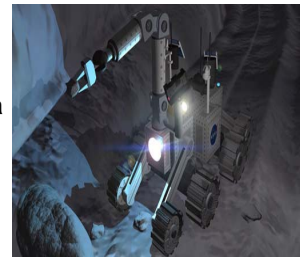
Dans les années 1960, des engins spatiaux robotiques américains et soviétiques ont entrepris l'exploration de la Lune. Le premier engin spatial à s'être posé en douceur à la surface de la Lune a été l'engin soviétique Luna-9, en 1966. Il a été suivi de plusieurs autres missions lunaires soviétiques et américaines, dont des missions axées sur des modules orbitaux, des retours d'échantillons et des véhicules d'exploration robotisés.

Pendant cette période, six équipages Apollo ont atterri sur la Lune et ont ramené des échantillons lunaires sur Terre.

Grâce à ces succès retentissants, on a pu examiner les roches lunaires dans des laboratoires terrestres. Les scientifiques ont déterminé que les roches les plus anciennes étaient environ un milliard d'années plus vieilles que les plus anciennes roches terrestres connues. À ce jour, les échantillons lunaires constituent toujours le meilleur étalon pour établir l'âge de n'importe quelle surface planétaire.

L'exploration humaine soutenue commencera sur la Lune. C'est là que nous apprendrons à vivre et à travailler en autonomie complète et où nous pourrions mettre à l'essai les technologies nécessaires aux missions habitées vers Mars et au-delà.

L'exploration scientifique de la Lune comprendra trois volets : la Lune comme environnement, la Lune comme observatoire et la Lune comme milieu d'essai. Le volet « La Lune comme environnement », qui traitera de la géologie, de la géochimie et de la géophysique lunaires, nous permettra de mieux comprendre l'histoire de la Lune. Selon les théories actuelles, la Lune aurait été créée après qu'un corps céleste de la taille de la planète Mars eut percuté la Terre durant son jeune âge, ce qui aurait entraîné l'éjection de roches vaporisées en orbite autour de la Terre. Au fil du temps, ces particules se sont agglutinées pour donner naissance à la Lune.



Prise d'échantillons au moyen de véhicules robotiques.
(Image : NASA)

La Lune a été le témoin privilégié d'une bonne partie de l'histoire du système solaire. Elle a, au fil du temps, enregistré cette histoire d'une façon plus détaillée que tout autre astre du système solaire. Par exemple, les comètes et les météorites qui ont bombardé la Terre et la Lune au début de leur histoire renfermaient-ils les constituants de la vie? La réponse à cette question pourrait se trouver sur la surface vierge de la Lune. Pour rendre intelligibles toutes les informations contenues dans le sol et le sous-sol lunaires, nous devons miser sur une exploration robotique approfondie et sur une analyse humaine de pointe des sites qui présentent un grand intérêt scientifique.

Le volet « La Lune comme observatoire » tirera profit du fait que la Lune est dépourvue d'atmosphère et qu'il s'agit d'un environnement radio « silencieux » pour observer l'univers. Par exemple, les astronomes aimeraient bien installer sur la Lune un radiotélescope basse fréquence pour capter les signaux émis par les toutes premières étoiles à s'être formées dans l'univers, il y a de cela plusieurs milliards d'années.



Installation d'un télescope sur la Lune. (Image : NASA)

Finalement, le volet « La Lune comme milieu d'essai » se penchera sur les effets de l'environnement lunaire sur les instruments robotiques, l'équipement et l'organisme humain. L'exposition, sur la Lune, à une faible pesanteur, aux rayonnements cosmiques, à la poussière, aux micrométéorites et à de grandes variations de températures amènera son lot de défis. La compréhension de ces effets permettra aux ingénieurs de mettre au point des matériaux et des systèmes durables que les humains pourront utiliser dans cet environnement hostile.



Les membres de l'équipage d'une mission lunaire remplissent d'oxygène les réservoirs de carburant de leur engin spatial. L'oxygène pourrait possiblement être produit sur la Lune (Image : NASA)

Pour maintenir une présence humaine ailleurs que sur Terre, nous devons tirer profit des leçons qui auront été apprises dans le cadre du volet « La Lune comme environnement » pour savoir comment vivre et travailler sur d'autres corps célestes. L'une des étapes critiques de cette démarche sera de déterminer si nous sommes en mesure d'exploiter les ressources lunaires. Par exemple, l'extraction d'oxygène directement du sol lunaire pourrait fournir l'air nécessaire aux systèmes de survie des explorateurs et servir de carburant pour les moteurs des engins spatiaux.

L'une des autres priorités sera de tirer profit de l'expérience acquise dans le cadre du Programme de la Station spatiale internationale afin d'élaborer des techniques efficaces de recyclage qui permettront de réduire la consommation de produits non durables tels que l'air, l'énergie et l'eau. Ces activités pourraient également nous apprendre comment gérer les précieuses ressources sur Terre.

Finalement, nous devons nous rendre compte que l'environnement lunaire est fragile et spécial. Il est de notre devoir de le protéger et de le préserver dans le cadre de nos activités d'exploration.

La Lune, satellite naturel de la Terre, est l'endroit idéal où l'humain pourra développer ses capacités qui lui permettront d'aller vers Mars et au-delà. La Lune ne se trouve qu'à trois jours de navigation de la Terre, comparativement à au moins six mois pour Mars. Et sur la Lune, le délai de communication n'est que d'une seconde et demie, comparativement à plusieurs dizaines de minutes pour la planète Rouge.

Le développement de systèmes de transport, de survie et d'habitation, tout comme la conception de robots de pointe, peut se faire dans l'environnement exigeant qu'est la Lune, avant qu'on ne mette ces systèmes à l'épreuve ailleurs dans le système solaire. Les explorateurs humains utiliseront également la Lune pour perfectionner leurs capacités et apprendre comment se préparer physiquement et mentalement en vue des voyages spatiaux de longue durée.

La Lune occupe une place prépondérante dans la culture de nombreux peuples et elle frappe instinctivement l'imaginaire. La Lune est le seul corps céleste que l'humanité toute entière considère comme un « endroit », et non pas uniquement un point lumineux. Il s'agit d'une destination qui pourrait vraisemblablement être à la portée d'un grand nombre de personnes dans un avenir plus ou moins rapproché.

De la même façon que les premiers alunissages, il y a environ 40 ans, ont fasciné une génération entière, l'exploration lunaire au cours des années à venir suscitera l'enthousiasme et la créativité des générations futures aux quatre coins du globe.

Comparativement aux premiers balbutiements de l'exploration lunaire, les médias plus branchés d'aujourd'hui créeront de nouvelles façons de relayer l'aventure spatiale. Peut-être bien que chacun de nous pourra participer personnellement aux missions lunaires robotiques et habitées par le truchement des technologies de présence virtuelle. Plus particulièrement, on pourrait solliciter la participation des jeunes afin de motiver ces derniers à devenir les explorateurs de demain – que ce soit à titre de scientifiques, d'ingénieurs, d'enseignants ou d'entrepreneurs.

Chapitre 5

Vers Mars et au-delà

Mars est une cible incontournable en exploration spatiale puisqu'elle possède une atmosphère et qu'elle renferme de l'eau. On met sur pied des missions robotiques de plus en plus complexes afin d'étudier la géologie de cette planète et d'y rechercher des traces d'une vie passée ou peut-être même toujours présente. Lorsque les systèmes robotiques auront atteint leurs limites, ils céderont le pas aux explorateurs humains, qui eux tenteront de lever le voile sur de nouveaux mystères. D'autres destinations, comme les astéroïdes, les comètes et les lunes des planètes géantes du système solaire, constituent autant de cibles de choix où l'humain pourra satisfaire sa curiosité.

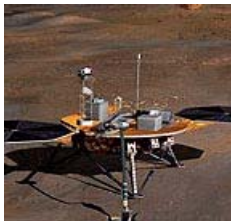
La planète Mars frappe l'imaginaire du public autant que la Lune – et peut-être même plus. Des millions de personnes suivent avec avidité le périple des petits véhicules robotisés partis explorer la surface martienne. L'exploration humaine de Mars, lorsqu'elle s'amorcera, sera encore plus captivante.

L'envoi d'humains sur Mars, pour l'explorer et y vivre, sera certainement une entreprise des plus exigeantes, mais elle pourrait fort bien constituer l'objectif le plus enrichissant du présent siècle dans le domaine de l'exploration spatiale. Bien que l'on ait étudié de nombreuses approches pour une mission de ce genre, la faisabilité technique et financière d'une telle initiative reste indéterminée. Des préparatifs plus poussés sont donc nécessaires.



Des êtres humains sur Mars. (Image : NASA)

Pour l'instant, ce sont des modules orbitaux, des atterrisseurs et des véhicules robotisés qui se chargent d'explorer la planète Mars. On envisage d'ailleurs, à long terme, de recourir à des missions robotiques ambitieuses pour ramener sur Terre des échantillons de la surface martienne.



La mission Phoenix a pour objet d'étudier l'histoire de l'eau sur Mars et visera également à déceler les zones de l'arctique martien qui pourraient être habitables. (Image : NASA)

Une meilleure connaissance de la planète Mars nous permettrait de mieux comprendre l'histoire et l'évolution de la Terre. Certains signes tendent à démontrer que la Terre et Mars étaient, il y a longtemps, encore plus similaires qu'elles ne le sont aujourd'hui. Les raisons de leur évolution divergente sont encore mal comprises aujourd'hui. D'ailleurs, les scientifiques se questionnent toujours à savoir si la vie a pu exister sur Mars, ou si elle pourrait encore être présente aujourd'hui.

Une étude approfondie pourrait permettre de déterminer comment Mars aurait pu évoluer d'une planète favorable au développement de la vie à la planète inhospitalière que nous connaissons aujourd'hui. En étudiant la géologie, la météorologie, le climat et les autres phénomènes naturels martiens, non seulement les chercheurs amélioreront-ils leurs connaissances sur Mars, ils pourront également savoir comment l'environnement terrestre a évolué au fil du temps et ils seront en mesure de mieux prédire comment il évoluera dans le futur.

Pour l'instant, on se concentre surtout sur les missions d'exploration en surface et les missions robotiques de reconnaissance. L'échantillonnage par carottage permettra de lever le voile sur l'histoire de la planète Mars et sur la présence possible de vie. Par exemple, l'examen du sous-sol martien pourrait révéler des formes de vie à l'abri du froid intense et du rayonnement nocif qui caractérisent l'environnement de surface de la planète Rouge.

Or, les missions d'exploration robotique ont toutefois leurs limites. Les missions d'exploration pourraient être poussées plus loin en mettant à profit l'ingéniosité et l'instinct d'explorateurs humains sur Mars.

En raison de sa similitude avec la Terre, Mars est l'endroit dans tout le système solaire où l'être humain pourrait vraisemblablement s'installer de façon durable dans l'avenir. Pour ce faire, il faudra relever d'importants défis technologiques, mais la planète Mars nous offre une panoplie de ressources. Elle est dotée d'une mince atmosphère qui bloque partiellement le rayonnement cosmique. Bien que la température, aux basses latitudes, soit plutôt froide, elle ne constitue pas un obstacle à une présence humaine. De plus, les journées sur Mars n'ont que 37 minutes de plus que les journées sur Terre, ce qui rend possible la production d'énergie solaire au moyen de cellules photovoltaïques. Tous ces facteurs permettent une présence humaine et robotique sur Mars, jusqu'à ce que des systèmes plus évolués de production d'énergie ne soient mis au point.



Illustration conceptuelle de modules d'habitation sur Mars (Image : NASA/JSC)

La présence potentielle de glace d'eau, et peut-être même d'eau liquide, sous la surface de Mars rend encore plus plausible une présence humaine durable et autonome sur Mars. Il pourrait également être possible de synthétiser le méthane et l'oxygène nécessaires aux moteurs des engins spatiaux à partir du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère et d'extraire de l'hydrogène à partir de la glace d'eau présente sur la planète.

Lorsque l'humanité se posera sur Mars, elle pourra explorer cette planète d'une façon inaccessible aux robots seuls.

Plusieurs pays ont les moyens financiers d'envoyer leurs propres missions d'exploration robotique vers Mars, mais la coordination des activités nationales et des futures missions d'exploration humaines présente des avantages importants. Des groupes tels que le Groupe de travail international sur l'exploration de Mars travaillent déjà à la concrétisation de telles missions scientifiques. Étant donné l'énorme défi que cela représente, l'exploration humaine de la planète Mars ne pourrait être possible que par le biais d'une coopération internationale soutenue.

La décision historique d'envoyer des êtres humains sur Mars ne sera de toute évidence pas prise avant plusieurs années. Toutefois, deux étapes importantes sont sur le point d'être franchies : tout d'abord, la participation d'un nombre accru de pays dans l'exploration de l'espace et le début d'une ère de collaboration planétaire, comme le propose le présent cadre.

Comme pour la Lune, l'environnement martien est à la fois fragile et unique. C'est pourquoi nous devons tout mettre en œuvre pour le protéger et ce, même lorsque nous l'explorerons.

Les astéroïdes et les comètes, dont l'origine remonte à la création du système solaire, ont une très grande valeur sur le plan scientifique. Des engins robotiques ont déjà entrepris l'exploration de ces vestiges datant de la naissance du système solaire, lesquels contiennent de l'eau ainsi que des composés organiques. Les premiers échantillons qui ont été ramenés de la queue d'une comète ont déjà produit des résultats inattendus. Le retour sur Terre d'échantillons inaltérés de noyaux de comètes ou d'astéroïdes est un gage de percées dans le domaine de l'exploration spatiale.

La première mission de retour d'échantillon d'un astéroïde est déjà en route vers la Terre. De plus, une mission visant l'atterrissage d'une sonde à la surface d'une comète est actuellement en cours de réalisation. Des missions de ce type pourraient nous permettre de mieux comprendre les risques liés à la présence de quelques astéroïdes dont les orbites pourraient potentiellement les faire entrer en collision avec la Terre.

Les cibles plus éloignées, comme les lunes de Jupiter et de Saturne, ont une très grande importance sur le plan scientifique. Par exemple, les scientifiques croient qu'Europe recèle fort probablement des océans d'eau liquide sous son écorce glacée, et ils croient également que l'atmosphère dense et frigorigène de Titan contient des molécules à base de carbone.

Ces destinations ne constituent toutefois pas des cibles réalistes pour une exploration humaine au cours des prochaines décennies, mais elles deviendront indéniablement accessibles au fur et à mesure que nos technologies d'exploration spatiale s'amélioreront.



Photo d'Europe en fausses couleurs.
(Photo : banque d'images d'Europe NASA/NSSDC)

Parallèlement à l'exploration humaine soutenue de la Lune, l'exploration robotique de la planète Mars, d'astéroïdes et d'autres cibles du système solaire permettra à d'autres pays de développer des compétences de première importance qu'ils pourront ensuite mettre à profit lorsque sera lancée l'exploration humaine de Mars et des autres corps célestes du système solaire.

Chapitre 6

Mise en œuvre de la Stratégie mondiale d'exploration

La coopération internationale permet à un pays d'accroître la portée de ce qu'il peut accomplir par lui-même, d'atténuer les risques et d'augmenter les chances de succès des missions d'exploration humaine et robotique de l'espace. Il est important d'établir et de maintenir des mécanismes pratiques d'appui à l'exploration si l'on souhaite réussir à mettre en œuvre l'exploration spatiale à long terme à l'échelle mondiale.

Au début de 2006, quatorze agences spatiales ont amorcé des discussions sur leurs intérêts communs au sujet de l'exploration spatiale. Malgré une histoire, des capacités et des intérêts différents, les agences ont commencé à développer une entente et un discours communs touchant l'exploration de l'espace.

Le succès des discussions préliminaires laisse présager l'établissement d'un mécanisme de coordination officiel et volontaire, bien que non juridiquement contraignant, parmi les agences spatiales intéressées qui favoriserait le développement et la mise en œuvre de la **Stratégie mondiale d'exploration**.

Un tel mécanisme faciliterait la coordination mondiale des activités d'exploration spatiale en :

- fournissant une tribune où les participants auraient la possibilité de discuter de leurs intérêts, de leurs objectifs et de leurs plans en exploration spatiale;
- stimulant l'intérêt de la société en général pour les activités d'exploration spatiale et en favorisant la participation à ces dernières.



Le programme Aurora fait partie de la stratégie spatiale de l'Europe. (Image : ESA – AOES Medialab)

Ce mécanisme permettrait :

- de tirer profit de l'ensemble des ressources, des connaissances et des capacités technologiques disponibles;
- de maximiser les investissements de chaque agence;
- de cerner les lacunes au niveau des programmes nationaux et d'identifier les chevauchements entre ces derniers;
- de partager les leçons qui ont été apprises dans le cadre des missions nationales et internationales;
- d'améliorer la sécurité des humains dans l'espace – notamment par le biais de l'interopérabilité des systèmes de survie;
- d'améliorer la vigueur des activités internationales d'exploration de l'espace.

Les principes de la coordination internationale

Le tableau ci-dessous présente les principes clés d'une coordination internationale qui rendent possible une exploration spatiale durable. Il contient également des exemples d'exigences connexes relatives au mécanisme.

Principes	Besoins connexes
Ouverture et intégration	<ul style="list-style-type: none"> • Obtenir la contribution de toutes les agences participantes intéressées qui investissent dans les activités liées à l'exploration de l'espace et qui réalisent de telles activités. • Fournir des services de consultation à toutes les agences intéressées par l'exploration spatiale et aux agences spatiales ou aux organismes

	gouvernementaux ne possédant pas de capacités spécifiques.
Souplesse et évolution	<ul style="list-style-type: none"> • Prendre en compte et intégrer les mécanismes existants de consultation et de coordination. • Permettre aux structures et aux mécanismes de consultation et de coordination d'évoluer au même rythme que les exigences liées aux activités. • Permettre la participation de représentants attirés du gouvernement ayant un intérêt clair et marqué relativement à l'exploration spatiale. • Fournir différents niveaux de consultation et de coordination.
Efficacité	<ul style="list-style-type: none"> • Encourager les organismes participants à accepter le rôle du processus de coordination et donner suite aux résultats anticipés du mécanisme de coordination.
Intérêts communs	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuer à la réalisation d'objectifs pacifiques communs et veiller à ce que les activités profitent à tous les participants. • Respecter les prérogatives nationales des organismes participants. • Permettre une participation facultative d'après le niveau d'intérêt de chaque organisme.

Les prochaines étapes

Grâce aux principes susmentionnés, les quatorze agences spatiales ont convenu de poursuivre la mise en œuvre d'un **mécanisme de coordination** officiel en vue de la coordination de la Stratégie mondiale d'exploration. Le mandat précis de ce mécanisme, qui est présentement à l'étape de l'élaboration, sera détaillé dans un document distinct.



Les agences spatiales ont convenu d'un Mécanisme de coordination officiel en vue de la coordination de la Stratégie mondiale d'exploration. (Image : ASC)

Bien que les domaines et les activités qui pourraient potentiellement tirer profit d'une coordination puissent changer avec le temps, on doit entre autres se pencher au départ sur :

- l'établissement de normes visant à promouvoir l'interopérabilité des systèmes;
- la définition de méthodes de partage des données scientifiques et des analyses connexes;
- l'identification de services communs, afin de permettre le développement d'infrastructures communes;
- la mise sur pied de mécanismes permettant l'envoi de charges utiles dans l'espace;
- l'élaboration de façons et de moyens favorisant une participation future accrue aux processus de planification et de coordination;
- l'examen de la nécessité d'ententes juridiques internationales.

Les quatorze agences participantes ont reconnu que la mise sur pied d'un outil commun de coordination internationale des activités d'exploration faciliterait la mise en œuvre du processus de coordination. Cet outil de coordination est présentement à l'étape de la définition et il sera présenté plus en détail dans un document distinct.

Le mécanisme de coordination prendra la forme d'un partenariat volontaire. Il ne réduira en rien la capacité de chaque agence de prendre des décisions par elle-même. Cependant, tous

les intervenants souhaitent que le partage des connaissances, des idées et des plans favorise la prise de décisions éclairées.

Chapitre 7

Une fenêtre sur l'avenir : Pourquoi ce besoin d'explorer?

L'exploration spatiale constitue un partenariat mondial au service de l'humanité. Elle nécessitera des voyages habités ainsi que des innovations technologiques qui se traduiront par l'acquisition de nouvelles connaissances et la création d'occasions commerciales.

L'exploration spatiale est mue par :

- **la civilisation humaine** : expansion de la présence humaine vers d'autres planètes afin de préparer le terrain pour d'éventuelles colonies;
- **les connaissances scientifiques** : réalisation d'activités scientifiques visant à trouver des réponses aux questions fondamentales sur l'histoire de la Terre, du système solaire et de l'univers et sur la place qu'on y occupe;
- **les partenariats mondiaux** : réalisation d'activités stimulantes, communes et pacifiques contribuant à rapprocher les pays dans la poursuite d'objectifs communs;
- **l'expansion économique** : expansion de la sphère économique et réalisation d'activités spatiales bénéficiant à la population terrestre;
- **la participation publique** : utilisation d'un programme dynamique d'exploration spatiale dans le but de susciter l'intérêt du public et des jeunes et de favoriser le développement de la main-d'œuvre hautement qualifiée nécessaire pour relever les défis de demain.



Un partenariat mondial qui jette les bases d'activités conjointes et pacifiques qui unit les nations en quête d'objectifs communs.
(Image : NASA)

Le présent Cadre de coordination de la Stratégie mondiale d'exploration propose une vision pour l'avenir où les frontières de l'humanité seront constamment repoussées vers les confins du système solaire. Il servira à inspirer les prochaines générations à venir. Le présent document expose comment les initiatives d'exploration humaine et robotique de l'espace entreprises par de nombreux pays, travaillant seul ou en partenariat, pourraient être coordonnées afin de maximiser les retombées à long terme de l'exploration spatiale pour l'humanité.

Chacune des agences ayant participé à l'élaboration du présent document adhère à la vision proposée et invite les autres organismes ou institutions du monde entier à se joindre à elles pour cristalliser cette vision prometteuse.