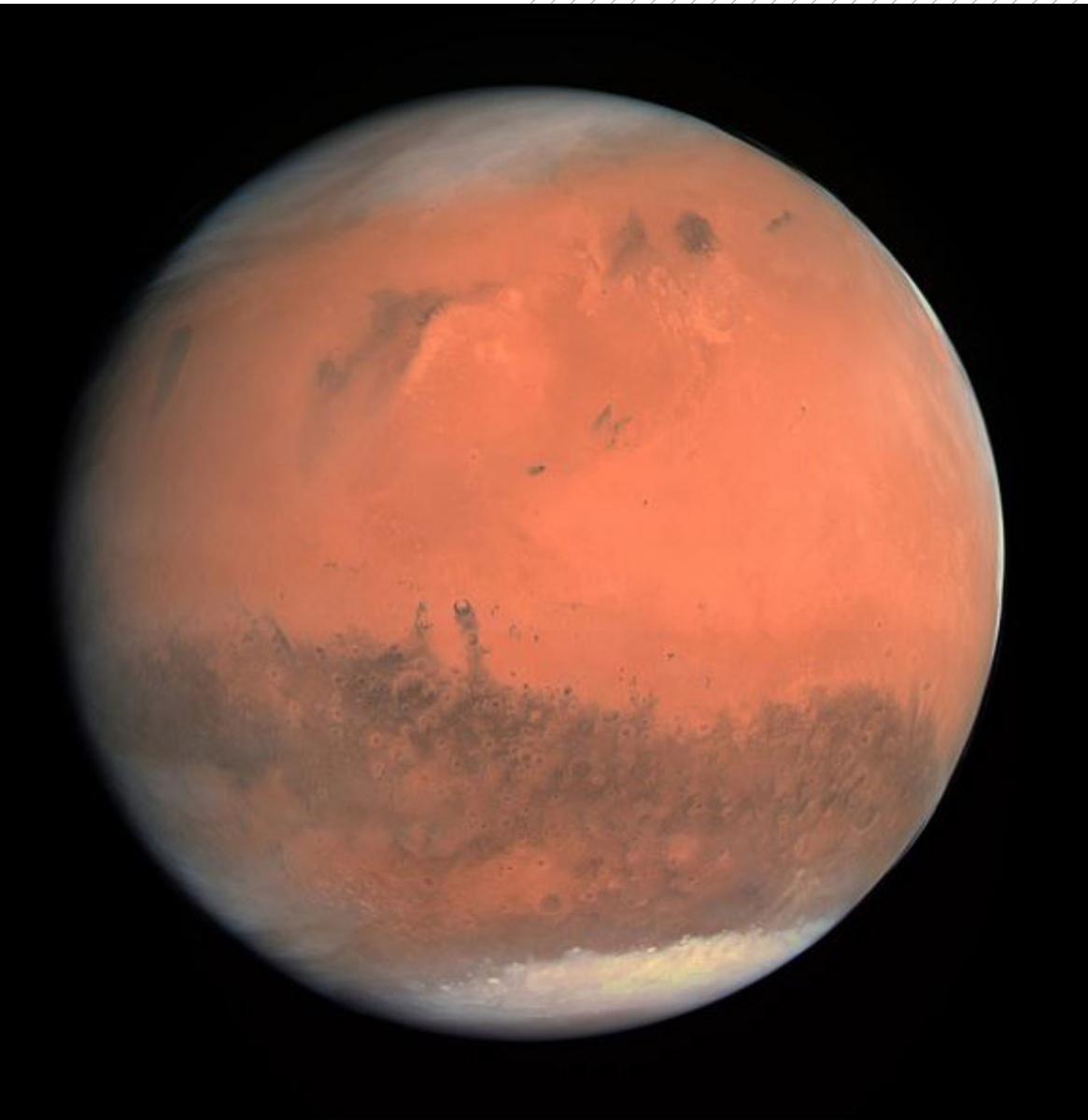




TECHNIQUES  
DE L'INGÉNIEUR

LES FOCUS  
TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR



# CONQUÊTE DE MARS

UN PAS DE GÉANT POUR  
L'HUMANITÉ

---

octobre / 2017

# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>QU'EST-CE QUI SÉPARE L'HOMME DE MARS ?</b>	<b>4</b>
▪ <b>VOYAGER DANS L'ESPACE, C'EST GRAVE DOCTEUR ?</b>	<b>4</b>
▪ <b>QUELS PLANS DE VOL POUR ALLER SUR MARS ?</b>	<b>6</b>
▪ <b>COMMENT VIVRE SUR MARS ?</b>	<b>8</b>
▪ <b>SAIT-ON FAIRE ATTERRIR DES HOMMES SUR MARS ?</b>	<b>11</b>
<b>CONQUÊTE SPATIALE, DES ENJEUX POUR AUJOURD'HUI ET POUR DEMAIN</b>	<b>14</b>
▪ <b>DES FERMES SPATIALES DANS PLUS DE 150 ANS</b>	<b>14</b>
▪ <b>COSMOLOGIE, RESSOURCES MINIÈRES... RUÉE SUR LES ASTÉROÏDES</b>	<b>16</b>
▪ <b>TRANSFERT DE TECHNOLOGIES : DE L'INNOVATION SPATIALE AU SECTEUR MÉDICAL</b>	<b>18</b>
▪ <b>UN SÉJOUR DANS L'ESPACE MODIFIE LE CERVEAU !</b>	<b>20</b>

# INTRODUCTION

Des "projets martiens" émergent chacun tour à tour depuis quelques années. Enjeu d'image pour des grandes entreprises comme SpaceX ou Lockheed Martin, la conquête de Mars n'en reste pas moins un projet crucial pour l'avenir de l'humanité. Aujourd'hui, il ne s'agit plus de savoir si l'homme ira un jour sur la planète rouge mais plutôt quand.

## QU'EST-CE QUI SÉPARE L'HOMME DE MARS ?

# VOYAGER DANS L'ESPACE, C'EST GRAVE DOCTEUR ?

*Une fois partis de la Terre, il faut maintenant voyager jusqu'à Mars. Un séjour de plusieurs mois dans l'espace. L'homme peut-il y résister ? Quelles contraintes et quelles solutions sont envisagées ?*

L'une des contraintes majeures du voyage dans l'espace est l'exposition aux radiations. Sortis de la protection de l'atmosphère terrestre et encore plus sortis de son bouclier magnétique (qui protège encore les astronautes dans l'ISS par exemple), la dose de radiation est-elle vraiment dangereuse pour l'homme ? Peut-on s'en protéger complètement ?

### Trois types de radiations à éviter

Dans ce long périple spatial, les astronautes devront d'abord traverser les ceintures de Van Allen. Ces deux (parfois plus) ceintures qui entourent la Terre et participent à sa protection contre les rayons cosmiques sont particulièrement dangereuses parce qu'elles accumulent les particules radioactives : protons dans la ceinture intérieure et électrons dans la ceinture extérieure. Le vaisseau devra donc les traverser le plus vite possible. Ensuite, dans l'espace interplanétaire, les radiations sont constituées d'une part des vents et particules solaires et d'autre part des rayons cosmiques. Il est facile de se protéger des premières en temps normal grâce à la paroi du vaisseau, à des réservoirs d'eau ou différents matériels faisant écran, mais lors d'une tempête solaire, l'équipage devra pouvoir se mettre à l'abri dans une zone de confinement prévue à cet effet et surtout être alerté de son arrivée. Pour les rayons cosmiques, c'est encore plus compliqué car les rayonnements passent à travers les matériaux et déclenchent des réactions en cascades : les radiations secondaires émises par les matériaux du vaisseau pourraient être plus délétères encore pour l'équipage. La Nasa étudie [toutes les pistes](#) de

protection : création de champs de forces, nouveaux matériaux (notamment à base de nanotubes de nitrure de bore hydrogéné – BNNT) et médicaments. Et de son côté, l'ESA vient de lancer, fin septembre, un [nouveau programme](#) dédié à l'étude des radiations et à leur protection via une série d'expérience dans 5 accélérateurs de particules européens.

Grâce à la mission du Rover Curiosity encore en activité sur le sol de la planète rouge, on a évalué l'exposition probable d'un astronaute pour une mission longue, soit près de 2 ans et demi. On aboutit au total cumulé de 1,1 Sv (sievert). Si pour une exposition unique cette dose serait obligatoirement délétère, il n'y a pas aujourd'hui consensus scientifique concernant la dangerosité d'une telle dose par exposition chronique. On estime cependant qu'elle augmenterait le risque de cancer de 2% sur 30 ans. Mais, les différents boucliers et protections mis en place pendant le voyage et sur Mars devraient réduire fortement cette exposition.

### Une apesanteur trop pesante ?

La deuxième grosse contrainte pour l'homme dans son périple pour Mars, c'est l'absence de pesanteur pendant de longs mois suivi par une pesanteur divisée d'un tiers sur Mars par rapport à la Terre. Les nombreux séjours d'astronautes dans l'ISS ont à présent permis d'en savoir beaucoup plus sur les effets de l'absence de gravité sur le corps humain. Perte osseuse et musculaire, troubles cardio-vasculaires, diminution des capacités sensorielles et motrices (notamment vision), mal de l'espace (trouble de l'oreille interne), perturbations immunitaire, problème de nutrition, possibilité de troubles neuro-comportementaux, d'inadaptation psychologique. Bien qu'entraînés et surpréparés, les astronautes actuels, après quelques semaines dans l'ISS mettent plusieurs jours ou semaines à recou-

vrer leurs capacités une fois de retour sur Terre. L'équipage vers Mars devra donc être très bien monitoré pour de nombreux paramètres médicaux et certainement avoir à son bord une ou plusieurs personnes capables d'effectuer certains actes chirurgicaux. Et il faudra prévoir une éventuelle incapacité des voyageurs à faire quoi que ce soit une fois arrivée sur place. Tout doit donc être prêt et automatisé. A ce jour aucun système réellement opérationnel ne permettant de créer une gravité artificielle n'ayant été mis au point pour un vaisseau spatial. Nasa et Esa notamment étudient les effets d'un passage temporaire ou permanent de personnes alitées dans des centrifugeuses créant une gravité artificielle pour évaluer si ce système pourrait compenser certaines perturbations de l'absence de gravité.

#### **Facteurs humains : des erreurs à la claustrophobie**

Monotonie, ennui, confinement, promiscuité... voilà les premières choses qui attendent nos voyageurs. Et plusieurs études en milieu spatial ou milieu extrêmes (bases Antarctique ou sous-marins notamment) montrent qu'au bout de seulement 30 jours on note une baisse d'énergie et une diminution des capacités intellectuelles et de la productivité, une fatigue, des états dépressifs, de l'irritabilité et de l'hostilité envers les autres. A ces manifestations bien documentées s'ajoutent des inconnues de taille : pour la première fois, des hommes seront presque totalement livrés à eux-mêmes pour une longue période hors de la planète Terre : pas de retour avant des mois, pas ou peu d'assistance à distance (le signal mettant entre 3 et 20 mn pour arriver sur Terre, il faut attendre parfois 40 min pour la réponse si elle est immédiate...). On voit là tout l'intérêt de réussir à sélectionner une équipe qui tiendra le coup... Les agences spatiales travaillent donc à étudier comment sélectionner les candidats idéaux. Différentes approches sont prônées sur le nombre de personnes idéales, sur la mixité ou non, le mélange de nationalités etc. Par ailleurs, tout un travail est aussi effectué pour pallier certains effets : on envisage par exemple d'utiliser la réalité virtuelle pour [transporter régulièrement les astronautes dans des paysages terrestres](#) et pourquoi pas avec des hologrammes de proches etc. Déjà de nombreuses simulations d'isolement

en milieu ressemblant à Mars ont été menées par la Nasa ([Hi-Seas de Hawaii](#)), par la Mars Society ([base arctique](#) et [désert de l'Utah](#)) ou conjointement par les Russes et les Européens ([Mars 500](#)).

Mais on voit bien qu'on est loin d'un scénario de colonisation de Mars et que l'on reste sur l'idée d'une mission technico-scientifique telle qu'on en a toujours fait dans l'espace pour l'instant.

**Sophie Huguin**

25/10/2017

# QUELS PLANS DE VOL POUR ALLER SUR MARS ?

*Choisir sa trajectoire, la durée du voyage et du séjour sur place, choisir son type de véhicule et la manière dont on quitte la Terre. Autant d'options stratégiques préalables à réfléchir et financer avant même de penser aux défis du voyage et de l'arrivée.*

La première contrainte du voyage vers Mars, c'est celle de la fenêtre de départ : avec les technologies actuelles de voyage dans l'espace, le départ n'est possible que tous les deux ans. En effet, la distance entre Mars et la Terre varie entre 56 et 400 millions de kilomètres selon leurs positions sur leurs orbites respectives. Et la bonne conjonction, qui permet un voyage le plus court, c'est-à-dire environ 7 mois, se situe quand Mars et la Terre sont en opposition, soit à peu près tous les deux ans. Du coup pour le retour cette contrainte impose de choisir entre deux versions : soit on reste un à deux mois maximum avant de repartir, soit on est obligé d'attendre plus d'un an et demi sur place.

## **Quels lanceurs lourds pour quitter la Terre ?**

Décoller de la Terre pour aller dans l'espace est presque devenu un exercice de routine aujourd'hui, mais... c'est pour de petites charges utiles comme des satellites ou des sondes. Pour aller sur Mars, il faut propulser hors de l'attraction terrestre entre 300 et 500 tonnes. Deux options sont à l'étude actuellement, soit le lancement de plusieurs modules de l'ordre de 50-100t que l'on assemble dans l'espace ou qui voyagent séparément, soit un vaisseau géant que l'on fait décoller directement depuis la Terre.

## **La Nasa mise sur le multimodulaire**

La première version est celle envisagée par la Nasa. Elle s'appuie sur la mise au point d'un nouveau lanceur lourd, le SLS (Space Launch System) dont les premiers vols avec la capsule de transport de passagers Orion sont planifiés pour fin 2018. Il doit être capable de mettre en orbite basse

terrestre quelques 130t et de lancer vers Mars un module de 50t. La conquête de Mars par la Nasa a été beaucoup revue à la baisse et les derniers objectifs affichés prévoient d'abord la validation de toutes les étapes du voyage spatial via de petites missions (autour de la Lune, en contact avec un astéroïde etc.) avant d'envoyer des hommes vers Mars, un jour. La date de 2030 initialement prévue ayant été repoussée à une date inconnue. Et pour le moment, il n'est pas envisagé de s'installer sur Mars mais seulement de rester en orbite. La Nasa a construit différents projets pour Mars, tablant à chaque fois sur l'envoi de plusieurs modules. Par exemple, l'envoi d'un module autonome qui atterrit et prépare le terrain pour l'arrivée des astronautes, un module de voyage spatial qui reste en orbite et qui sert de base orbitale pour les astronautes. Un troisième module servant à faire la navette entre la planète rouge et ce vaisseau. Le nombre d'astronautes restant restreint à un équipage de 4 à 6 personnes.

## **Space X et son cargo géant**

D'un autre côté, on trouve Space X dont le concept est celui d'un vaisseau unique qui décolle de la Terre, se pose sur Mars et revient. Bref, il reprend le concept de sa fusée réutilisable Falcon 9 et de sa capsule dragon mais à une toute autre échelle. Cet ambitieux projet, présenté fin septembre 2017, même s'il a été revu à la baisse par rapport à l'ITS (Interplanetary Transport System) annoncé en 2016, reste pharaonique.

Le système, baptisé BFR (pour Big Falcon Rocket ou Big Fucking Rocket), est constitué de trois entités : un lanceur lourd (31 moteurs Raptors) capable de mettre en orbite basse 150t, un vaisseau spatial qui peut servir de cargo de marchandises ou de transports de passagers avec 40 cabines de 2-3 places et un système de tanker pour éta-

blir des réservoirs de carburant en orbite et ravitailler le vaisseau hors de l'atmosphère terrestre. Le tout étant récupérable et réutilisable. L'objectif pour la petite firme américaine : remplacer la gamme de fusées et de capsules par un seul système. Et pour rendre cela rentable, la BFR servirait donc à la fois de lanceurs de satellites, de lanceurs et vaisseau pour des missions cislunaires ou dans l'espace proche, de ravitaillement pour la (les) stations spatiales internationales et pourquoi pas de nouveau type de transport terrestre permettant de relier Bangkok-Dubaï en 27mn. Pour ce qui est du calendrier, tout le monde s'accorde à dire qu'il est intenable : le BFR vers 2020, les deux premières missions inhabitées sur Mars en 2022 pour préparer de manière automatisée l'arrivée des premiers voyageurs stellaires en 2024 ! Sachant que le premier pas à franchir pour SpaceX est la validation du lanceur Falcon Heavy (capacité de 30t en orbite basse) dont le premier vol est annoncé en novembre 2017 et la validation d'un vol avec un équipage pour la capsule Dragon.

25/10/2017

#### **D'autres candidats ?**

Parmi les autres puissances spatiales, personne n'envisage de s'attaquer au vol habité vers Mars avec la construction d'un lanceur lourd. Car outre les défis technologiques, le coût est un frein indéniable. C'est d'ailleurs pourquoi cet été, la Nasa a annoncé que le vol habité vers Mars avec colonisation était remis aux calendes grecques. Et si le SLS et la capsule Orion ont été maintenu malgré leur coût annoncé de 2 Md\$ de conception et d'un milliard de dollars pour chaque lancement c'est parce qu'ils doivent servir au nouvel objectif américain d'installation sur la Lune. L'outsider Mars One, une entreprise privée fondée par le néerlandais Bas Lansdorp, dont la mission prévoit une installation sur Mars sans retour sur Terre, prévoit quant à elle d'utiliser le lanceur SpaceX Falcon Heavy pour sortir ses différents modules de l'atmosphère terrestre et le projet de Lockheed Martin de camp martien s'appuie sur le SLS et la capsule Orion – capsule dont la conception est d'ailleurs assurée par Lockheed Martin.

**Sophie Hoguein**

# COMMENT VIVRE SUR MARS ?

*L'installation sur Mars en elle-même est un très vaste sujet de recherches à travers le monde entier. Car une fois sur place, il faut pouvoir être autonome pour la plupart des paramètres vitaux : air, eau, nourriture, énergie, matériaux de construction, télécommunications et transport. Que maîtrise-t-on ? Est-ce encore une utopie ?*

Les projets sont plus ou moins ambitieux selon que l'installation est pensée comme définitive (version Mars One) avec terraformation, temporaire longue (SpaceX) ou temporaire courte (Lockheed Martin) ou encore totalement fictionnelle et terrestre (Mars Science City - Emirats Arabes Unis). Tout ou partie de ces recherches qui sont d'ailleurs menées d'abord en vue de la colonisation de Mars sont en train d'être transférées vers la Lune, nouvel eldorado spatial, qui semble un peu plus accessible à nos technologies actuelles.

## **Terraformation ?**

Transformer Mars en une autre Terre... un sujet abordé dans la fiction et depuis quelques temps aussi dans la science. Comment injecter des tonnes de particules à effets de serre pour réchauffer l'atmosphère et la densifier ? Comment recréer un champ magnétique nécessaire pour retenir cette atmosphère ? Comment implanter des organismes vivants terrestres pour qu'ils s'adaptent, colonisent la planète rouge et produisent l'oxygène nécessaire à l'homme ? Autant de questions sur lesquelles planchent de temps en temps les scientifiques. Ce qu'il en ressort ? Le processus sera forcément long – plusieurs centaines de milliers d'années, il y a peu de chances qu'on sache le maîtriser une fois lancé – donc le résultat reste très aléatoire, et il faut d'abord régler la question de l'éthique.

Doit-on terraformer Mars ou pas, selon qu'on y trouve des traces de vie passées ou actuelles, est-ce utile, est-ce dangereux etc ? Un positionnement qui fait débat mais pour lequel se dessine tout de même un assez large consen-

sus contre, en cohérence avec les préceptes des règles internationales de la conquête spatiale : on ne « pollue » pas, on transforme le moins possible les environnements extraterrestres avec du vivant en provenance de la Terre. Cependant, cette question se pose aussi pour une installation de longue durée : on ne peut pas stériliser un être humain autant qu'un rover ou un atterrisseur... Donc, dès lors qu'un humain arrive sur Mars, le risque de pollution biologique devient très important.

## **Des murs de briques... et de blocs**

C'est la foire à l'imagination ! La conception d'habitats martiens (ou lunaires) est pléthorique. De glace puisée sur place, gonflables, de briques fabriquées localement, ou souterraines creusées par des robots, les habitations martiennes inventées sont l'oeuvre d'architectes, d'ingénieurs divers, de rêveurs et font travailler des centaines d'étudiants ou de cabinets d'études – pas seulement ceux du master dédié du centre international d'architecture spatiale de Sasakawa (Université de Houston) – mais tous ceux, par exemple, qui ont participé au concours de 2015 organisé par la Nasa et doté de 40 000\$ de prix (voir [les 30 premiers](#)). Et avec l'essor de l'impression 3D et l'arrivée de nouveaux matériaux, tout semble à présent possible, y compris transporter depuis la Terre des habitats qui prendront forme en quelques minutes une fois arrivés. La plupart prévoit une architecture modulaire, des espaces communs et privés et une certaine esthétique pour soutenir le moral des colons, ainsi que, bien sûr, une protection totale contre les radiations et les intempéries martiennes.

## **Respirer, oui mais quoi ?**

La question de l'air intérieur est plus compliquée qu'il n'y paraît. En effet, si on peut aujourd'hui maîtriser la création d'un air intérieur stable avec une bonne proportion d'oxygène, d'argon et d'azote, il reste encore à déterminer les différentes proportions et pression que l'on doit choisir. Car elle conditionnera les modalités de sortie des habitats - si

trop de différence avec l'extérieur, il faudra attendre longtemps dans un sas pour que le corps s'habitue, mais si trop semblable à l'extérieur il peut y avoir des gênes dans la vie quotidienne. En outre si la proportion d'oxygène est trop importante, les risques d'incendie sont surmultipliés.

### Atteindre l'autonomie

Les expériences sur les stations spatiales ou les simulations terrestres d'habitats martiens comme ceux utilisés par la Mars Society permettent d'avoir un assez bon retour sur les moyens de recycler l'eau (voir la [vidéo Nasa système de recyclage](#) pour de petits équipages). Et on maîtrise les processus pour transformer le dioxyde carbone de l'atmosphère martienne en eau et en oxygène ou en méthane avec de l'hydrogène importé. Cela permettrait de produire sur place du carburant (propergol de méthane) pour le retour notamment. Des technologies capables de creuser le sol pour en récupérer l'eau ou pour la filtrer sont à portée de main et Mars dispose de matériaux dans son sol permettant d'envisager la fabrication d'éléments de construction. Quant à la nourriture, elle sera principalement importée. Produire en quantité suffisante en serre de quoi nourrir sur plus d'un an, même un équipage restreint est actuellement utopique, mais emporter toute la nourriture nécessaire pour un aussi long voyage l'est tout autant. Des containers avec des réserves de nourriture placés avant l'arrivée des premiers colons est d'ailleurs une solution envisagée dans différents scénarios de colonisation. L'Esa et la Nasa planchent sur ces questions depuis longtemps et l'on sait maintenant que la préparation des repas, la variété sont des éléments essentiels pour maintenir le moral et la santé des astronautes. La connaissance du métabolisme d'un humain dans l'espace, ses besoins précis en calories et la relation avec son poids sont d'ailleurs actuellement à l'étude dans l'ISS.

### Quelle énergie ?

L'un des plus gros défis reste celui de l'énergie. L'utilisation de panneaux solaires n'est pas idéal sur Mars, c'est une alimentation non continue soumise aux aléas des tempêtes de poussières et qui prend beaucoup de place. Les scénarios

les plus aboutis et les plus ambitieux en matière d'installation sur Mars font appel à la fission nucléaire. Selon le très complet *«essai d'analyse technique d'une colonie martienne»* édité par [Planète Mars en 2008](#), *«de petites installations délivrant en continu 40kWe aurait une masse de moins de 5 T tout compris et un encombrement en configuration de transfert limité à 7m x 3,3m»*. De nombreuses autres possibilités sont cependant à l'étude tel que l'éolien ou l'hydraulique en sous-sol.

### Une véritable ville en 2117 ?

Les études économiques, techniques et le retour d'expérience laisse à penser que l'homme peut poser le pied sur Mars dans les 20 ans à venir s'il s'en donne les moyens. Cependant, de là à établir un véritable village voire une ville, de très nombreux obstacles n'ont pas encore été franchis de manière formelle et en l'état actuel des moyens de transports l'établissement d'une base pourrait prendre des dizaines d'années. Une réalité qui n'a d'ailleurs pas échappé aux Emirats Arabes Unis dont l'ambition spatiale ne cesse de croître. Ainsi, leur projet de ville martienne est planifié pour dans 100 ans, d'où son nom de Mars 2117. En attendant, ils construisent déjà une simulation sur Terre avec Mars Science City, une ville artificielle, en plein désert, recréant sur 18 hectares les [conditions de vie d'une ville martienne](#).

### Conclusion

Imaginer un départ, un voyage, un atterrissage et une installation de longue durée sur Mars en se basant sur des technologies actuelles matures semblent encore un peu utopique ou un travail de très longue haleine. Cependant, dans de nombreux domaines, des percées technologiques sont peut-être sur le point de changer très vite la donne : des évolutions dans la propulsion spatiale, la maturation des technologies de fabrication 3D, de nettes améliorations dans la capacité de produire, stocker les énergies (miniaturisation, rendement), l'émergence de nouveaux matériaux à la fois plus légers, plus souples et plus solides, et aussi un marché du spatial qui s'est ouvert tant à de nouvelles

nations spatiales (la Chine qui vise un atterrisseur et rover en 2020 ou les Emirats Arabes Unis et leur projet Mars 2117) qu'à des initiatives privées de milliardaires rêveurs ou à de nouveaux appétits industriels.

**Sophie Hoguin**

25/10/2017

# SAIT-ON FAIRE ATTERRIR DES HOMMES SUR MARS ?

*La question est loin d'être anodine. Quand on sait que 50% des atterrisseurs et rovers envoyés se sont écrasés et que la plupart des autres ont été très secoués, est-on capable d'atterrir sur Mars sans encombre ?*

Inutile de rappeler le douloureux échec du module européen Schiaparelli en octobre 2016 pour se rendre compte que les crashes à l'atterrissage sur Mars ne sont pas que ceux des Russes des années 1960. Mais pourquoi est-ce si dur d'atterrir sur Mars ?

## Une atmosphère trop légère

Pour atterrir sur Terre ou sur Vénus ou même sur Titan, on se sert de la présence d'une atmosphère plutôt dense pour freiner les engins. Une fusée qui rentre sur Terre passe ainsi de 28000 km/h à 300km/h en quelques minutes juste par frottements avec l'atmosphère. Un (très) bon bouclier thermique suivi de l'ouverture d'un parachute suffisent à assurer un atterrissage en douceur. Mais sur Mars, l'atmosphère moins dense, ne permet de passer que de 21000 km/h à 1500km/h. L'ouverture du parachute permet alors de ralentir à 300km/h et pour la suite il faut donc ajouter des rétrofusées. A priori on sait faire – enfin pour des rovers, car le maximum pour l'instant c'est l'atterrissage de Curiosity qui ne faisait qu'une tonne. Sauf que cela consomme énormément de carburant et plus le module est grand, plus il faut de carburant. Ce qui pénalise beaucoup le décollage depuis la Terre (en puissance nécessaire et en coût). C'est pourquoi les missions envisagées ne prévoient que quelques passagers (4 à 6), ou une station relais orbitale avec une liaison Mars-station orbitale spécifique ou dans le projet de SpaceX un ravitaillement en orbite. Outre cette première difficulté, Mars est capricieuse, selon sa météo le taux de poussières dans l'air peut énormément varier : il en résulte que l'engin peut rencontrer l'atmosphère plus tôt

que prévu car elle se dilate (ce qui va modifier sa trajectoire d'atterrissage) et les frottements des poussières érodent de manière plus importante le bouclier thermique des engins (il doit donc être plus épais). En outre, Mars est fréquemment parcouru de vents violents (jusqu'à 250km/h), imprévisibles qui peuvent déstabiliser le vaisseau et le dévier de sa zone d'atterrissage prévue. On voit là que réussir un atterrissage sur Mars nécessite de prévoir des moyens de réajuster la trajectoire ou le déploiement des différents systèmes. C'est d'ailleurs là qu'a échoué Schiaparelli : en arrêtant trop tôt les rétrofusées par une erreur d'appréciation de la distance avec le sol. Par ailleurs, pour un vaisseau qui emporterait des humains, l'option parachute n'est pas envisageable, on ne sait pas fabriquer un tel outil pour un engin de plusieurs dizaines de tonnes lancé à 1500km/h.

## La navette de Lockheed Martin

Lockheed Martin, partenaire de longue date de la Nasa, déjà en charge de la conception et de la fabrication de la capsule de transport de passagers Orion, a présenté en 2016 son projet, Mars Space Camp. Une station orbitale martienne pour la direction de robots et l'observation scientifique de la planète rouge. Un projet que l'entreprise a peaufinée depuis pour en détailler de nouveaux pans à l'occasion du dernier congrès international d'astronautique qui s'est tenu fin septembre en Australie.

Ainsi Lockheed Martin propose un véhicule capable de réaliser à peu près 6 allers-retours entre Mars et l'orbite. A l'occasion de chaque rotation, 4 astronautes peuvent descendre et séjourner sur la planète pendant 2 à 3 semaines. Baptisé le MADV pour Mars Ascent/Descend Vehicle, cette navette doit atterrir et décoller à la verticale. Le carburant utilisé serait de l'hydrogène liquide fabriqué à partir d'une électrolyse de l'eau séparant l'oxygène et l'hydrogène.

L'énergie nécessaire à cette électrolyse serait fournie par des panneaux solaires. A l'origine, l'eau viendrait de la Terre mais à terme elle serait collectée depuis des glaces d'astéroïdes, de la Lune ou des lunes de Mars ou de Mars elle-même selon ce qui se développera dans l'avenir. L'eau sera livrée par des véhicules spatiaux dédiés qui pourraient être lancés par une entité commerciale à part. Deux MADV doivent être disponibles afin d'être sûr de ne pas laisser un équipage bloqué à la surface de la planète.

#### **Le BFR en mode martien**

De son côté SpaceX a donc misé sur un vaisseau unique. Le vaisseau BFR qui arrive sur Mars, entre dans l'atmosphère et atterrit sur le même modèle que les fusées Falcon 9 actuellement en service. Il utilise l'atmosphère de Mars pour le premier freinage et assure la fin du trajet en utilisant la technique de rétropropulsion supersonique. Avec cette technique, les moteurs de la fusée émettent un jet de réacteur contre le flot relatif supersonique de l'air qui augmente le freinage aérodynamique.

La trajectoire hyperbolique commence à une vitesse de 7,5 km/s et le pic d'accélération est de l'ordre de 5g (avec une référence terrestre). SpaceX estime que **99% de l'énergie sera dissipée aérodynamiquement**. Vu le poids du vaisseau (à peu près 55 t), SpaceX a prévu de stocker pour l'ensemble du trajet 240 tonnes de méthane et 860 tonnes d'oxygène liquide. Mais la plus grande partie du carburant sert pour effectuer cette opération. Il faudra ensuite, produire ce carburant sur place pour assurer le redécollage et le retour vers la Terre.

#### **Sophie Huguin**

- [Tout savoir sur le projet Lockheed Martin](#)
- [Tout savoir sur le BFR](#)

25/10/2017



# CONQUÊTE SPATIALE, DES ENJEUX POUR AUJOURD'HUI ET POUR DEMAIN

## DES FERMES SPATIALES DANS PLUS DE 150 ANS

*Des chercheurs canadiens de l'université Guelph en Ontario mènent des recherches en vue de faire pousser des cultures dans l'espace, permettant ainsi à l'humanité de vivre sur d'autres planètes et de repousser les frontières de la Terre.*

La nourriture est l'obstacle principal pour l'exploration à long terme de l'espace. Cela limite la distance à laquelle nous pouvons voyager depuis la Terre et le temps que nous pouvons passer dans l'espace.

Nous pouvons stocker assez de nourriture pour les habitants de la Station Spatiale Internationale ou même pour un voyage aller/retour sur la lune. Mais si nous voulons voyager jusqu'à Mars et encourager des missions d'exploration à long-terme, nous avons besoin de systèmes de production alimentaire qui soient bio-régénératifs et indépendants. En somme, des fermes spatiales. L'agriculture dans l'espace est probablement l'un des plus importants défis que nous aurons à surmonter si nous souhaitons séjourner de longues périodes sur la planète rouge dans les 150 prochaines années. Mais c'est un challenge que le Canada est vraiment déterminé à mener.

Même si des personnes sont déjà inscrites pour faire partie de la première colonie humaine sur Mars, notre prochaine planète présentera certainement moins de challenges environnementaux. Mars a un climat épouvantable. Ses températures moyennes sont en dessous de -60 °C, sa pression atmosphérique équivaut à moins de 1% de celle de la Terre et est principalement constituée de dioxyde de carbone. De plus, le temps peut être extrêmement venteux et poussiéreux sur de longues périodes. S'y ajoute le danger de l'exposition aux radiations, et sans un noyau en fusion comme celui de la Terre (ce qui signifie quasiment pas de champ magnétique), l'environnement de la planète devra être considérablement modifié pour penser y vivre un jour.

Néanmoins, cela ne signifie pas que la vie sur la planète rouge est impossible. Lorsque le Canada fêtera ses 300 ans, des centaines d'explorateurs de l'espace passeront des dizaines d'années à chercher de la vie sur Mars. Des dizaines d'années, car l'aller/retour prend 2.5 ans, donc le temps de séjour devra être assez long pour rentabiliser le voyage. Cela signifie l'installation d'habitations hermétiques, de centres de recherche et de fermes. C'est ainsi que des programmes d'environnement contrôlé se développeront.

Le Canada est parmi les chefs de file mondiaux dans la recherche et le développement technologique des systèmes de survie biologique. Quand il s'agit d'agriculture, les conditions extrêmes rencontrées dans l'espace sont similaires à celles au nord du pays. Essayer de faire pousser une tomate sur Mars est très similaire à essayer de faire pousser une tomate dans une congère : c'est impossible sans la création d'un environnement contrôlé.

A l'université de Guelph en Ontario, les chercheurs essaient de faire pousser des cultures dans l'espace grâce aux recherches faites sur les systèmes de contrôle d'environnement. Les travaux en cours dans ce domaine ont révélé que des plantes peuvent vivre sous certaines conditions environnementales inhabituelles, comme une pression atmosphérique très basse ou avec moins d'oxygène que sur Terre. Cela signifie qu'il n'y a pas besoin de structures hermétiques répliquant exactement l'atmosphère de la Terre pour que les plantes survivent sur Mars.

Dans 150 ans, il sera possible de faire pousser notre nourriture sur Mars dans des structures gonflables. A l'intérieur tout sera conçu pour assurer les rendements de culture les plus élevés. L'intensité de la lumière – et même sa couleur ou son spectre – sera adaptée pour chaque culture. L'aération et la pression, la température, les nutriments, les

niveaux de dioxyde de carbone et l'humidité seront précisément contrôlés pour créer une atmosphère idéale dans laquelle les plantes pourront bien pousser.

Il poussera des variétés de cultures conventionnelles associées avec une alimentation équilibrée et un régime végétarien nutritif. La plupart des vitamines et des minéraux dont nous avons besoin seront disponibles dans les plantes, et les protéines seront dans le soja et d'autres cultures similaires.

Ces importantes variétés de plantes, ou « cultures candidates », seront soigneusement entassés ou superposées dans un petit espace – à l'opposé des larges prairies canadiennes. Ces cultures compactes seront produites en utilisant une quantité limitée d'eau et zéro déchet, car loin de la terre on ne peut se permettre de jeter. Il est nécessaire d'apprendre à tout recycler car cela sera une question de vie ou de mort – l'agriculture extrême est des plus difficiles.

Le travail réalisé à Guelph est conçu, non seulement pour l'espace, mais aussi pour les Canadiens et d'autres personnes à travers le monde qui pourront être amenés à vivre dans des endroits où la sécurité alimentaire est un problème que seule l'agriculture extrême peut résoudre.

Aujourd'hui, nous dépensons des millions de dollars à transporter des denrées périssables au nord du Canada, comme des fraises du Mexique vendues à Yellowknife.

Maintenir la présence humaine au Nord dépend de notre production de nourriture de la même façon que pour maintenir notre présence sur Mars. En créant ces systèmes, il sera possible d'habiter les parties les plus extrêmes du Canada, comme le Nord, et d'autres parties du globe, comme les déserts du Moyen Orient.

L'exploration spatiale génère d'incalculables technologies dans de nombreux domaines. Pour la production alimentaire, l'exploration spatiale permettra d'apprendre comment faire pousser des cultures presque partout avec aussi peu d'impact que possible sur l'environnement.

D'ici les 300 ans du Canada, le challenge de vivre sur Mars aura été résolu, et les avancées considérables réalisées

serviront à la fois l'espace mais aussi notre propre survie sur Terre.

**Source :** [Nouvelles de l'Université de Guelph](#) – 10 août 2017

• [www.diplomatie.gouv.fr/des-fermes-spatiales-dans-plus-de-150-ans](http://www.diplomatie.gouv.fr/des-fermes-spatiales-dans-plus-de-150-ans)

**Rédacteur :** Morgane SEITÉ - Chargée de Mission pour la Science et la Technologie à Toronto

24/08/2017

# COSMOLOGIE, RESSOURCES MINIÈRES... RUÉE SUR LES ASTÉROÏDES

*Rosetta et Tchuri l'ont révélé au grand public. Les astéroïdes sont dignes d'intérêt. Les Japonais approchent de l'astéroïde Ryugu, la Nasa a pris en chasse Bennu et le dernier congrès européen de planétologie s'y est intéressé de près : comment aller facilement sur les astéroïdes, comment les exploiter ?*

La communauté scientifique (et industrielle) s'intéresse de près aux astéroïdes pour des raisons très diverses :

- les astéroïdes voyagent et transportent de la matière dans le temps et dans l'espace et sont donc porteurs de réponses concernant la formation de l'univers, de notre planète et de l'apparition de la vie.
- Un intérêt de sécurité car mieux les connaître et être capable de s'en approcher voire s'y poser c'est pouvoir plus facilement trouver des solutions pour éviter une collision dramatique avec la Terre.
- Un intérêt économique, car on commence à imaginer comment exploiter leur richesse minière.

Bon. Sauf que pour le moment la mission Rosetta et l'atterrissage de Philae sur la comète Tchouri en 2014 reste une réalisation exceptionnelle.

## En route pour Ryugu et Bennu

Il y a un an, le 8 septembre 2016, la Nasa a lancé Osiris-Rex, une sonde à destination de l'astéroïde 101955 Bennu (Bénoù en version française). Hasard du calendrier, Osiris Rex vient de nous rendre visite ce vendredi 22 septembre pour profiter de l'assistance gravitationnelle de la Terre, prendre quelques clichés et repartir plus vite vers sa destination qu'elle doit atteindre en 2020. Pour elle, le retour est programmé en 2023. Son objectif ? Récolter quelques échantillons de roche et les ramener sur Terre. Comment ? Grâce à un bras de 3,35m qui crache un jet d'azote qui doit

décoller des roches et un aspirateur capable de récolter et stocker 60g de matière. Un système largement inspiré des Japonais qui sont eux en route pour 162173 Ryugu avec Hayabusa 2 dans le but de récolter 1g de matière. Lancée en décembre 2014, Hayabusa 2 doit tenir compagnie à Ryugu de juillet 2018 à février 2019 et lâcher Mascot, un atterrisseur fourni par les Allemands (DLR) et les Français (CNES), avant de revenir sur Terre en décembre 2020. L'agence spatiale japonaise (JAXA) n'en est pas à son coup d'essai, elle bénéficie de l'expérience d'Hayabusa 1 qui a touché le sol de l'astéroïde Itokawa en 2005 sans réussir à se poser convenablement mais en ramenant quelques centaines de grains de poussières à son bord.

## Des plans sur la comète

Ces tentatives ont tôt fait d'échauffer les esprits inventifs et cupides de plusieurs entités économiques prêtes à partir à la chasse aux minéraux, métaux et ressources énergétiques que l'espace peut nous offrir. Après tout, selon son type, un seul astéroïde d'un kilomètre de diamètre pourrait fournir le fer et le nickel mondial pour une année entière. Outre la création spécialement dans ce but de deux entreprises américaines (Planetary Resources et Deep Space Industries), ce sujet a fait l'objet récemment de la publication d'un [livre blanc](#) par le Luxembourg à la suite d'une discussion mondiale entre toutes les parties intéressées en septembre 2016. Notons d'ailleurs que le Luxembourg se veut à la pointe du sujet. Il vient de mettre en place (août 2017) un cadre législatif favorable pour les entreprises qui envisagent cette activité. Ce cadre se veut un modèle pour un futur droit commercial international de l'espace ; il est calqué sur le droit maritime où il n'y a pas d'appropriation en soi mais un droit à exploiter les ressources.

Le contenu de ce [livre blanc](#) de 80 pages a été présenté à l'occasion du congrès européen des sciences des planètes (European Planetary Science Congress) organisé par Europlanet à Riga en Lettonie du 17 au 22 septembre 2017.

Par **Sophie Huguin**

26/09/2017

Mettant en avant le fait qu'on ne sait pas encore grand chose des astéroïdes : quels sont ceux qui sont « facilement » accessibles depuis la Terre, quel est leur composition ? Comment la connaître ? Comment les exploiter : sur place, sur Terre, sur une base lunaire ? Que nous reste-t-il à développer ? De quoi mesurer que leur exploitation n'est vraiment pas pour demain...

#### **Plus on est de fous...**

A l'occasion du Congrès d'Europlanet, le Dr. Pekka Janhunen de l'Institut finlandais de météorologie, est venu présenter son [concept](#) pour visiter 300 astéroïdes en trois ans. De quoi s'agit-il ? Simplement d'une flotte d'une cinquantaine de mini-sondes spatiales munies d'une propulsion à base de voiles électriques à vent solaire (E-sails) embarquant télescope, caméras et spectromètre pour évaluer la composition des astéroïdes. Chaque sonde passerait à quelque 1000 km de 6-7 astéroïdes avant de revenir sur Terre délivrer ses données. Les sondes feraient à peu près 5 kg et seraient placées au bout d'une longe d'une vingtaine de kilomètres. Le système d'E-sail inventé par Pekka Janhunen en 2006 fournirait une vitesse de l'ordre d'un millimètre par seconde. Il utilise l'énergie des protons des vents solaires pour créer la rotation d'une tige qui fournit alors un faible courant électrique. L'aller-retour jusqu'à la ceinture d'astéroïdes prendrait donc à peu près 3,2 ans. Comme ces sondes n'auraient pas la capacité d'emporter une grande antenne, elles seraient obligées de repasser vers la Terre pour livrer leurs données. « Le coût total de la mission est estimé à 60M€ (lancement compris), soit 200 000 euros par astéroïde visité, une bagatelle comparativement au coût d'une mission conventionnelle qui se chiffrerait tout de suite en milliards », précise l'auteur. Reste qu'on attend encore la validation du fonctionnement dans l'espace d'une telle sonde.

# TRANSFERT DE TECHNOLOGIES : DE L'INNOVATION SPATIALE AU SECTEUR MÉDICAL

*L'agence spatiale européenne, l'ESA, mène un programme de transfert de technologies du spatial vers les secteurs non spatiaux. En France, In Extenso Innovation Croissance est le représentant exclusif de ce programme. Dans le cadre du salon Paris Healthcare Week, lumière sur des transferts de technologies vers le secteur médical.*

*« Le programme de transfert de technologies de l'Agence spatiale Européenne a pour but de faciliter les retombées des innovations spatiales afin de booster la compétitivité européenne, trouver de nouveaux débouchés et augmenter la capacité d'innovation des entreprises européenne », prévient Nicolas Louée, consultant senior de la société In Extenso Innovation Croissance. « L'idée est aussi que le grand public comprenne les retombées de la recherche spatiale au quotidien : si on prend l'exemple du médical, le progrès spatial peut aider à sauver des vies ! », insiste-t-il.*

## **Comment est organisé le transfert de technologies ?**

Le programme de transfert de technologies comporte un premier pilier visant à valoriser la [propriété intellectuelle](#) de l'agence via 450 brevets couvrant 150 inventions et déposés par les chercheurs. L'ESA se repose également sur un réseau de « brokers » pour augmenter le nombre de transferts réalisés chaque année. Ces entreprises sont des « courtiers en technologies », résume Nicolas Louée. Ces derniers assurent le transfert de technologies de l'ensemble du tissu industriel spatial européen (laboratoires, PME, start-up...). « À l'échelle de son pays, chaque broker sert de lien entre des donneurs de technologies du domaine spatial et les entreprises en recherche de solution en dehors de ce secteur, détaille l'expert. Leur rôle est de sélectionner une liste de technologies pertinentes et d'amorcer le trans-

*fert de technologies. »*

Le programme s'appuie aussi sur un réseau de 13 incubateurs répartis un peu partout en Europe afin d'accompagner le transfert de technologies via la création de start-ups. Aujourd'hui, ce sont plus de 350 porteurs de projets qui ont été accompagnés au travers de ce dispositif.

Concrètement, sur la période 2013-2016, le réseau européen de broker a réalisé plus de 40 transferts pour un montant de 7 millions d'euros, recensé près de 250 innovations spatiales à fort potentiel de valorisation dans des applications terrestres, partagé 60 cas de transferts remarquables et rencontré une centaine de sociétés non spatiales par an pour échanger sur leurs besoins. Sur ce créneau, l'Hexagone est particulièrement performant. « En tant que broker, nous sommes multi-technologies et multi-secteurs d'application. Nous avons la charge de transférer n'importe quelle typologie de technologie développée dans le spatial, que cela soit l'optique, la télécommunication, les matériaux, les systèmes d'assemblage... pour trouver des applications dans le médical, le nucléaire, l'automobile, l'aéronautique, etc. », complète Nicolas Louée.

Financé par l'Agence Spatiale Européenne, les brokers ont pour objectif d'assurer un certain nombre de transferts par an. « Pour In Extenso Innovation Croissance, l'objectif de transfert de technologies se situe entre 2 et 4, suivant les années », précise Nicolas Louée.

## **Des success stories dans le médical !**

À l'occasion de sa conférence, Nicolas Louée donne plusieurs exemples de transferts ayant eu lieu en Europe dans le secteur médical. Ainsi, l'entreprise Aabam a développé [CondorScan](#), une mini caméra qui filme l'intérieur de la

bouche et réalise en temps réel une empreinte des dents en 3D. Elle utilise une technologie développée au CNES pour les satellites Pléiades d'observation de la Terre. Au lieu de reconstituer en 3D la surface de la terre, la technologie reconstitue ici l'intérieur d'une bouche !

A l'**Université de Maastricht**, le vent extérieur de la clinique faisait vibrer les microscopes. Dans ces conditions, une chirurgie de l'oeil sur cinq était impossible. C'est en s'intéressant au télescope Darwin qui détecte les exoplanètes qu'un broker néerlandais a trouvé la solution. La technologie permet d'amortir automatiquement les vibrations à ultra-basse fréquence dans les microscopes chirurgicaux. Elle pourra aussi être appliquée aux autres opérations de précision, comme la chirurgie du cerveau, des neurones ou de petits vaisseaux sanguins.

Par ailleurs, Crossject s'est inspiré de la **propulsion spatiale** pour injecter des médicaments par voie intradermique, sous-cutanée et intramusculaire, sans aiguille. Ce système d'injection pyrotechnique **Zeneo** a été adapté de la solution de la Société Nationale des poudres et explosifs (SNPE) développée pour la propulsion d'Ariane.

Actuellement, une start-up française développe une méthode pour détecter de façon précoce le cancer de la vessie. Cela passe par l'analyse en fluorescence de l'urine, adaptée d'une technologie pour améliorer l'analyse et le traitement des **images hyperspectrales** par satellite.

Par **Matthieu Combe**, journaliste scientifique

24/05/2017

# UN SÉJOUR DANS L'ESPACE MODIFIE LE CERVEAU !

*La structure du cerveau est modifiée par les vols spatiaux. C'est la découverte d'une étude de l'Université du Michigan, parue dans npj Microgravity.*

Voyager ou séjourner dans l'espace ne fait pas forcément du bien au cerveau. Pour s'en rendre compte, l'étude a comparé les scans IRM des cerveaux de 27 astronautes avant et après leur mission. Précisément, 13 astronautes avaient mené une mission spatiale d'environ deux semaines et 14 avaient vécu 6 mois au bord de la station spatiale internationale. Les données ont été obtenues auprès du système de surveillance de la santé des astronautes de la NASA.

## **De la matière grise qui prend plus ou moins de volume**

Les chercheurs ont constaté une diminution considérable du volume de matière grise dans le cerveau de ces astronautes. Notamment dans de grandes zones couvrant les lobes temporal et frontal et autour des orbites. À l'opposé, ils ont découvert une augmentation de la quantité de matière grise dans des zones plus localisées, notamment celles contrôlant le mouvement des membres inférieurs. Une augmentation ou une baisse de la matière grise dans différentes parties du cerveau a été relevée chez l'ensemble des astronautes. Plus ceux-ci avaient séjourné longtemps dans l'espace, plus les modifications étaient importantes.

La baisse de volume de matière grise pourrait être liée à la redistribution du liquide céphalo-rachidien dans l'espace, avancent les chercheurs. « La gravité n'est pas disponible pour extraire les liquides vers le bas dans le corps, ce qui se traduit par un visage dit gonflé dans l'espace. Cela peut entraîner un décalage de la position ou de la compression du cerveau », explique Rachael Seidler, auteure principale de l'étude et professeur de Kinésiologie et psychologie à l'Université du Michigan. En revanche, l'augmentation du

volume de matière grise reflète probablement la plasticité cérébrale associée au fait d'apprendre à se déplacer en microgravité 24 heures sur 24. Une preuve supplémentaire que notre cerveau s'adapte à beaucoup de choses.

Diverses études récentes ont identifié des risques pour le cerveau dans l'espace. Troubles cognitifs, de l'apprentissage, modifications du nerf optique... pourraient se multiplier dans l'espace. En cause ? Une augmentation de la pression intracrânienne en conditions de microgravité. N'en déplaise aux fans de science-fiction, l'évolution semble avoir conditionné l'Homme pour vivre sur Terre, et non pas dans des vaisseaux.

**Par Matthieu Combe, journaliste scientifique**

11/08/2017