



PLANÈTE MARS



Numéro 70 Bulletin de l'association Planète Mars, 28 rue de la Gaîté 75014-Paris www.planete-mars.com

janvier 17

ISSN 1772-0370

ÉDITO

Les changements de président aux États-Unis ne manquent jamais de nous faire entrer dans une période d'incertitude, voire de remise en cause, de la politique américaine en matière d'exploration spatiale. Le dernier épisode, l'élection du président Obama, a ainsi conduit à l'arrêt du programme Constellation, lancé par son prédécesseur. Mais aussi, plus tardivement, à l'affichage de la volonté de relancer l'exploration avec Mars comme objectif.

A ce jour, les prises de position de la nouvelle administration ne permettent pas d'avoir une idée claire de sa politique. Y aura-t-il un engagement plus net et plus formalisé pour la reprise de l'exploration habitée ? Mars va-t-il en rester l'objectif, ou va-t-on voir les partisans d'une étape lunaire préalable imposer leurs vues ? Les développements rescapés de Constellation - lanceur lourd SLS et capsule Orion - sevrés de missions en l'absence d'un vrai programme, pourront-ils survivre ? La NASA va-t-elle continuer à défendre son rocambolesque projet de mise en orbite lunaire d'un fragment d'astéroïde ? La politique de soutien aux nouveaux entrants du spatial va-t-elle être poursuivie ?

Sur ce dernier point, l'attention manifestée par le président Trump envers Elon Musk et Jeff Bezos, à l'occasion de réunions de conseil sur l'innovation, est un signe encourageant. Pour peu que ces industriels tiennent leurs objectifs contractuels et techniques, on ne voit pas comment les acteurs établis, aussi puissants soient-ils, pourraient les faire écarter.

On peut enfin s'interroger sur le véritable impact qu'aura la récente révélation du projet ITS de SpaceX. Au-delà de l'excitation provoquée par son ambition et ses innovations, ce projet a fait l'objet de critiques. Robert Zubrin, tout en en louant les mérites, en a proposé une version « optimisée » dans l'article :

<http://www.thenewatlantis.com/publications/colonizing-mars>

(traduit sur notre site). Notre collègue P.-A. Haldi en donne dans ce numéro sa propre analyse. Il est clair que cette initiative n'aboutira pas à un développement sans que le projet s'affine. Il est d'ailleurs vraisemblable qu'Elon Musk le conçoive ainsi. Mais, quoi qu'il en soit, l'ITS fait désormais partie du paysage.

Richard Heidmann
vice-président

Dans ce numéro :

- Une veste pour la vie p.1
- Présentation ITS de SpaceX : commentaires et réflexions p.3
- La vie de l'association p.5
- Mars : Comment ? Quand ? Pour y faire quoi ? p.5
- Les couleurs du Mont Sharp p.8

prochain numéro : avril 2017...

UNE VESTE POUR LA VIE



Prototype de veste AstroRad présenté au congrès IAC, avec protection renforcée des zones les plus critiques.

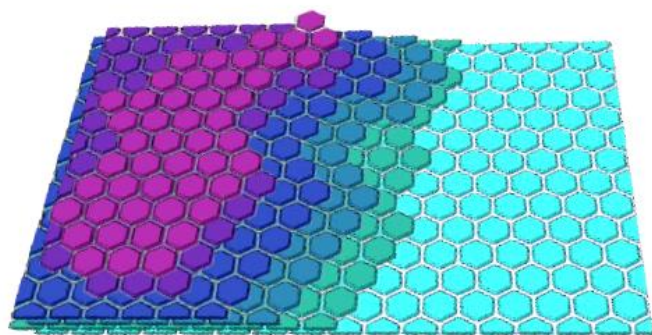
(doc. StemRad/Lockheed Martin).

La protection contre les radiations est un des problèmes majeurs de l'exploration spatiale par vols habités. Dans ce domaine, de grand progrès sont réalisés actuellement par la joint-venture StemRad Ltd (Israël) / Lockheed Martin Space Systems Cy. (États-Unis). Il s'agit de la conception d'une « veste » qui pourrait équiper tout astronaute devant séjourner dans l'espace profond. Son principe repose d'une part sur la nature des radiations et d'autre part sur les matériaux pouvant faire écran et les besoins ergonomiques des passagers dans un espace forcément réduit. L'étude a été présentée au dernier International Astronautic Congress (IAC) en Septembre 2016.

Les radiations spatiales comprennent un rayonnement de GCR (Galactic Cosmic Rays), constant, et des flux de SeP (Solar energetic Particles), exprimés avec violence lors de SPE (Solar Particle Events) exceptionnels et aléatoires mais pouvant survenir 3 à 4 fois lors de la phase d'activité maximale du soleil au cours de son cycle de 11 ans. Le rayonnement GCR comprend des ions et des nucléons d'éléments atomiques lourds (au nombre de protons, « Z », élevé) animés d'une énergie très forte (500 MeV et plus), ils sont isotropes ; les SPE comprennent surtout des protons (hydrogène ionisé) et ils sont moins énergétiques (de 10 à 100 MeV) mais plus denses et unidirectionnels. Les ions et nucléons de forte énergie franchissent aisément la barrière d'aluminium d'un habitat et cassent les noyaux d'aluminium (et d'autres éléments chimiques de Z élevé) dans l'environnement des astronautes en de multiples radiations secondaires (neutrons, protons, rayons γ , rayons α ...).

La NASA conseille de limiter l'exposition aux radiations par rapport à un risque de « Radiation Exposure Induced Death » (« REID ») de 3% maximum. Les doses de radiations sont mesurées en millisieverts (« mSv ») et les doses qui constituent les 3% varient en fonction de l'âge et du sexe (les femmes jeunes ou les enfants étant plus vulnérables) et de l'intensité / ou de la durée de l'exposition. En principe le risque de REID de 3% ne serait pas dépassé à l'occasion d'un voyage aller-retour de 400 jours et d'un séjour de 600 jours sur la planète pour une femme comme pour un homme, de 40 ans, dans un vaisseau dont la coque en aluminium donne une protection de 20 g/cm² et au cours de laquelle survient un SPE comme celui de 1972 (fort). On pourrait supporter dans une vie, deux ou trois voyages de ce type sans trop de dommage. A noter qu'on pourrait se trouver au-dessus des 3% pendant un voyage effectué au cours de la partie basse du cycle d'activité du soleil (car la densité des GCR serait plus forte).

Pour mieux se protéger de ces radiations, primaires ou secondaires, la meilleure solution serait de leur opposer une barrière d'hydrogène car les radiations particulières sont freinées par les atomes de cet élément et ne peuvent les dissocier en neutrons ou protons (puisque le noyau d'hydrogène ne comprend qu'un seul proton). Mais comme l'hydrogène est trop volumineux à l'état de gaz et ne peut se conserver à l'état liquide qu'à partir de -252,87°C, on doit recourir à des corps aux molécules stables qui contiennent le plus possible d'hydrogène (ou d'élément à bas Z), et d'abord à l'eau. Pour commencer, on peut positionner toutes les réserves d'eau (et d'aliments) autour du caisson étanche permettant une protection pendant les orages solaires. Cependant si on veut permettre une certaine mobilité aux astronautes pendant des SPE qui peuvent durer plusieurs heures, on peut difficilement envisager de leur faire porter une bouée remplie d'eau. C'est là où intervient StemRad/Lockheed Martin.



Exemple de tissu multicouches employé. (doc. StemRad)

La joint-venture (« la JV ») a d'abord travaillé sur le choix du matériau. Le polyéthylène haute densité, (C₂H₄)_n qui contient 14% d'Hydrogène est un bon candidat et on peut lui adjoindre du Bore qui a un numéro atomique (Z) bas et dont l'isotope 10 a une capacité intéressante de capture des neutrons à faible énergie et facilite donc l'arrêt des particules secondaires. A cela la JV propose d'ajouter, en employant la technologie additive (impression 3D), une structure porteuse en éléments atomiques de Z certes élevé mais qui doivent servir d'ossature, aussi fine que possible, à l'ensemble. Il s'agit là d'équilibrer l'intérêt présenté au niveau atomique/moléculaire par les éléments de niveau Z bas avec celui présenté au niveau macroscopique par les éléments d'un niveau Z élevé.

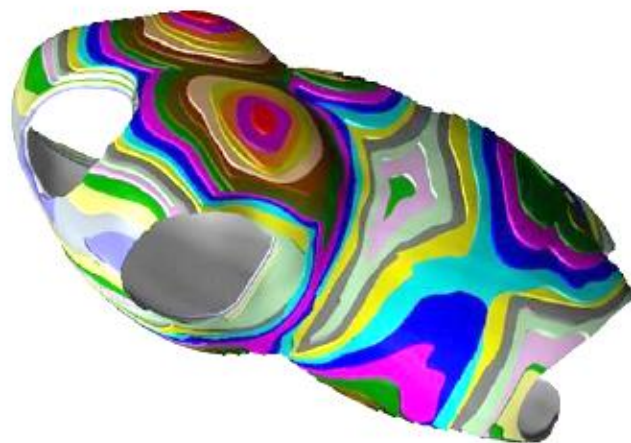


Image de la veste Astrorad pour femme, avec indication des zones à protéger. (doc. StemRad)

Ensuite la JV a cherché à déterminer « quoi » protéger et à partir de quelle surface du corps (angle solide). Pour ce faire, elle a utilisé une imagerie très fine des corps féminin et masculin pour déterminer les organes les plus sensibles sur le plan radiatif et les plus utiles pour lutter contre les effets nocifs (par régénération), en clair les divers centres de formation de cellules souches puisque ce sont ces cellules qui permettent la régénération des tissus irradiés (en supposant qu'il convient de sauvegarder au moins 5% de ces cellules puisqu'on a constaté que cela était suffisant pour récupérer d'une irradiation survenant sur Terre). Il en découle des indications très précises sur ce qui doit bénéficier d'une protection renforcée et les zones de la surface du corps qu'il convient d'équiper d'un écran adapté.

Il est résulté de ce travail une « veste », nommée « AstroRad », qui serait plutôt un « justaucorps » comportant des zones avec protection renforcée (voir image) par exemple le pelvis ou les seins. Un tel dispositif permettrait de réduire de moitié les doses effectives de radiations (d'après les tests effectués en laboratoire, on passerait de 229 mSv à 121 mSv). La JV veut faire embarquer un « fantôme » équipé du justaucorps et de capteurs dans le vol d'Orion prévu par la NASA en 2018 dans l'environnement lunaire (« Orion-EM1 »).

On voit ainsi que même dans le cas d'un problème important et a priori très difficile à résoudre, l'ingéniosité humaine peut faire des avancées qui changent les perspectives. Equipés d'un tel justaucorps, les astronautes réduiront considérablement leurs risques de cancer aussi bien pendant le voyage que pendant le séjour sur Mars. Dans ce dernier cadre, le poids du justaucorps ne sera pas un inconvénient puisque, bien au contraire, il donnera aux « Martiens » un poids qui les rapprochera (avec leur scaphandre) de celui qu'ils auraient sur Terre, réduisant ainsi les dommages que pourrait leur causer une gravité trop faible sur le long terme.

Pierre Brisson

Références:

- (1) « Astrorad : personal radiation protection utilizing selective shielding for deep space exploration »; IAC-16-A1.4.7.
- (2) www.stemrad.com

NB: StemRad a mis au point et commercialise un dispositif nommé “360 gamma shield”, essentiellement une ceinture protégeant le pelvis, utilisé sur Terre dans les actions où le risque d'exposition aux radiations est élevé. Cette ceinture utilise des matériaux à Z élevé, plus adapté aux radiations auxquelles on peut être exposé sur Terre.

PRÉSENTATION ITS DE SPACEX : COMMENTAIRES ET RÉFLEXIONS

Préambule

Comme tous les passionnés d'exploration spatiale, j'ai suivi avec le plus grand intérêt la récente présentation par Elon Musk d'un système de transport interplanétaire (ITS) destiné prioritairement à la colonisation de Mars. Ce projet de SpaceX ouvre dans ce domaine des perspectives et des voies nouvelles qui pourraient mettre la Planète rouge à notre portée dans un avenir plus proche que prévu. Elon Musk s'est cependant lui-même déclaré ouvert à une analyse critique du concept qu'il a présenté à l'IAC 2016, en vue de mettre en évidence d'éventuelles faiblesses de celui-ci et si possible voir émerger des solutions correctrices. A mon modeste niveau, c'est ce que j'ai essayé de faire dans l'article qui suit, articulé en deux parties. Dans la première, je passe en revue certaines des caractéristiques de l'ITS proposé qui me paraissent mériter un réexamen. Dans la seconde (à paraître), je proposerai une réflexion, à ce stade encore préliminaire, sur une structure un peu différente d'un tel ITS qui éviterait les écueils relevés dans la première partie. L'objectif étant avant tout de susciter ainsi un brassage d'idées plus large sur ces questions dans un esprit positif et productif.

PREMIÈRE PARTIE: Quelques considérations personnelles sur le concept d'ITS

Note : Les commentaires qui suivent respectent l'ordre chronologique de la présentation faite par Elon Musk.

Conditions-clés

Les quatre conditions-clés énoncées pour permettre d'emmener un nombre important de personnes sur Mars à un coût raisonnable - soit environ celui de l'achat d'une maison individuelle aux USA - semblent pertinentes, tout particulièrement en ce qui concerne le principe de pleine réutilisabilité de tous les éléments du système. Je me pose cependant des questions sur le concept du plein à réaliser en orbite, donc en apesanteur, car on sait que le transfert d'importants volumes de fluides dans ces conditions pose pas mal de problèmes. Par ailleurs, j'ajouterais pour ma part une cinquième condition, à savoir une conception optimale du système et de ses composants pour chacune des différentes phases du vol et tâches spécifiques à accomplir, ce qui n'est pas forcément toujours le cas du système proposé par SpaceX (voir ci-dessous).

Fabrication sur Mars des ergols de retour

C'est évidemment, comme déjà proposé par Robert Zubrin dans son approche « Mars Direct », la chose à faire pour éviter de transporter inutilement ces ergols depuis la Terre, les déposer sur Mars, avant de redécoller de la Planète rouge ensuite avec. Mais pourquoi ne pas appliquer systématiquement ce même principe de rationalité/efficacité à la conception de l'ensemble

du système, et donc en particulier éviter de faire atterrir sur Mars et redécoller ensuite des éléments sans aucune utilité sur le sol de la planète mais uniquement dans l'espace ? Ce point, qui a également été soulevé par Robert Zubrin dans sa propre analyse du concept d'ITS proposé par SpaceX, est au centre de la réflexion qui sera présentée dans la deuxième partie de cet article.

Conception générale de l'ITS (vidéo de présentation)

La vidéo projetée pour illustrer la conception générale de l'ITS de SpaceX était enthousiasmante et esthétiquement très réussie mais, malgré l'affirmation du contraire par Elon Musk, je peine à y voir plus qu'une vision d'artiste de ce futur système de transport interplanétaire, pas toujours très réaliste, voire même parfois un peu fantaisiste.

Par exemple, le fait d'avoir un réservoir plein, prêt à être lancé, en attente sur le pas de tir, à proximité immédiate de la fusée emportant les passagers, et plus tard de la position de retour sur la base de celle-ci, constitue pour le moins une grosse imprudence. Comme d'ailleurs l'opération de « refueling » en orbite, impliquant le transfert, délicat comme mentionné plus haut, de grandes quantités d'ergols, les passagers étant déjà à bord. Ceci viole toutes les règles de sécurité telles qu'appliquées aujourd'hui dans l'aviation par exemple (pour rappel : on n'a pas affaire ici à des astronautes professionnels mais à des « passagers »).

Toujours au chapitre de la sécurité, un vaisseau interplanétaire de transport « de masse » - supposé non seulement naviguer dans l'espace mais encore entrer dans l'atmosphère martienne à très haute vitesse avant de se poser sur la Planète rouge, puis en repartir - qui comporte de nombreux hublots et même une large verrière, ne me paraît pas très réaliste (on n'est pas dans *Star Trek* !). Ayant pu au début des années 70, dans le cadre d'un vol de démonstration du *Concorde*, discuter avec des ingénieurs ayant conçu ce magnifique avion, ceux-ci avaient souligné la difficulté d'avoir été obligés de prévoir des hublots pour des raisons essentiellement psychologiques (il n'y a pas grand-chose à voir en vol). La température du fuselage en vol supersonique n'atteignait pourtant « que » 127 °C, en comparaison de 1700 °C pour l'ITS, et les contraintes sur la structure étaient bien moindres que sur un vaisseau entrant dans l'atmosphère de Mars. Dans les projets d'avions hypersoniques (env. 350 °C), il n'y a d'ailleurs plus du tout d'hublots prévus pour les passagers. Un autre aspect de la conception de l'ITS qui paraît peu rationnel est la disposition des quartiers d'habitation à bord de celui-ci. D'après les illustrations projetées, les cabines des passagers semblent être placées à la périphérie du vaisseau (pour admirer la vue sur le « paysage » par les hublots ?). Pour limiter autant que possible les doses de radiation reçues par les passagers sur le trajet Terre-Mars, il y aurait pourtant en principe tout intérêt à intercaler la plus grande épaisseur possible d'obstacles matériels entre l'extérieur et les zones d'habitation du vaisseau, en veillant cependant à ne pas créer ainsi de rayonnements secondaires encore plus dommageables. La logique voudrait donc a priori que l'on installe plutôt les passagers et tous les équipements sensibles à distance des parois de l'ISS et que soient placées à la périphérie par exemple les réserves d'eau (excellente protection contre les rayonnements protonique et neutronique), de nourriture, de matériel et autres fournitures moins susceptibles d'être endommagées par les radiations. Dans le même ordre d'idée, il paraît difficilement acceptable de ne pas prévoir

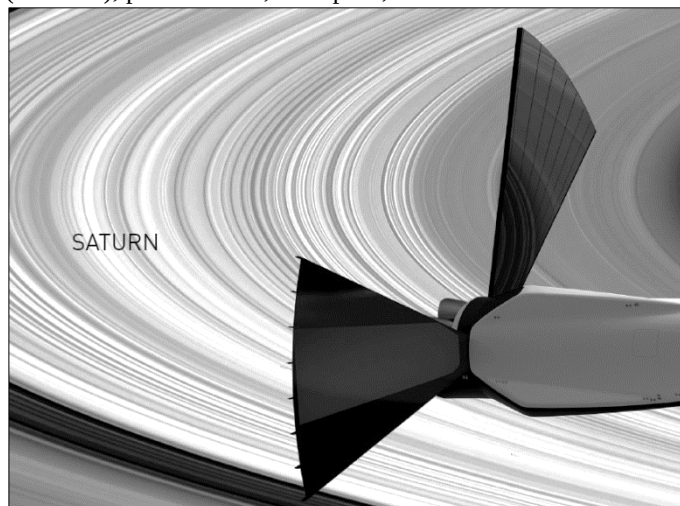
une « zone de repli », au blindage renforcé, dans laquelle les occupants du vaisseau pourraient bénéficier d'une protection supérieure le temps de laisser passer un orage solaire (quelques minutes à quelques heures au plus), même si c'est dans des conditions relativement peu confortables !

Dans ce contexte de protection contre les radiations cosmiques (GCR), qui incluent des rayonnements corpusculaires de très hautes énergies et Z élevés, il conviendrait de s'interroger par ailleurs sur l'utilisation d'une structure en fibre de carbone (Z=6) en lieu et place d'aluminium (Z=13). Offre-t-elle un blindage aussi efficace ? Et si ce n'est pas le cas et que cela implique d'augmenter l'épaisseur des parois du vaisseau, y a-t-il alors encore un gain de masse ? À ma connaissance, cette question n'a pas encore été vraiment étudiée.

Enfin, je ne suis pas un grand expert de ces questions, mais étant donné que le coefficient balistique, et donc l'efficacité du freinage atmosphérique, diminue avec les dimensions du vaisseau (car proportionnel à S/M, avec S section du « maître-couple », qui varie comme la dimension au carré, et M la masse, qui varie comme la dimension au cube), n'entre-t-on pas dans un cercle vicieux avec un gros vaisseau, qui doit de ce fait emporter plus d'ergols pour compenser par un freinage « actif », ce qui à son tour conduit à augmenter encore ses dimensions et donc accroître le problème ?

Alimentation en énergie

L'alimentation en énergie du vaisseau en phase de croisière repose apparemment essentiellement, si ce n'est uniquement, sur l'électricité fournie par des panneaux photovoltaïques (PV). Ce qui est très troublant est que ceux-ci semblent en outre « d'usage universel », dans la banlieue terrestre, sur le trajet Terre-Mars (et retour), près de Mars, de Jupiter, de Saturne ... !



L'ITS au voisinage de Saturne, avec ses panneaux solaires déployés !
(doc. SpaceX)

A-t-on pris en compte la diminution de l'intensité de l'énergie rayonnée (et donc captable) à mesure qu'on s'éloigne du Soleil ? Ce point n'a pas été mentionné dans la présentation d'Elon Musk.

↓ Paramètres	Terre	Mars	Saturne
Distance moy. Soleil [Mkm]	149,6	227,9	1421,2
Puissance / cte solaire [W/m²]	1371	591	15

D'après les figures projetées, j'ai estimé la surface des panneaux solaires de l'ITS à environ 850 m².

En supposant par ailleurs une efficacité des cellules PV de 22,7% (celle des cellules de *Solar Impulse*), on obtient :

↓ Paramètres	Terre	Mars	Jupiter	Saturne
Puissance totale [kWe]	265	114	10	3
Puissance/passager (100) [kWe]	2,6	1,1	0,1	0,03

Est-ce suffisant ? Je n'ai pas trouvé d'information précise à ce sujet. Mais même si la puissance disponible par passager n'est pas forcément significative (la puissance nécessaire pour le fonctionnement du vaisseau n'est pas nécessairement strictement proportionnelle au nombre de passagers), j'ai pensé intéressant de comparer avec la navette spatiale, dans laquelle la puissance par passager est de 3 kWe en moyenne. L'ordre de grandeur de la production obtenue par les panneaux solaires de l'ITS pourrait donc être adéquat en orbite terrestre, mais peut-être un peu faible en approche martienne, et certainement totalement insuffisant dans les banlieues de Jupiter et, pire encore, de Saturne.

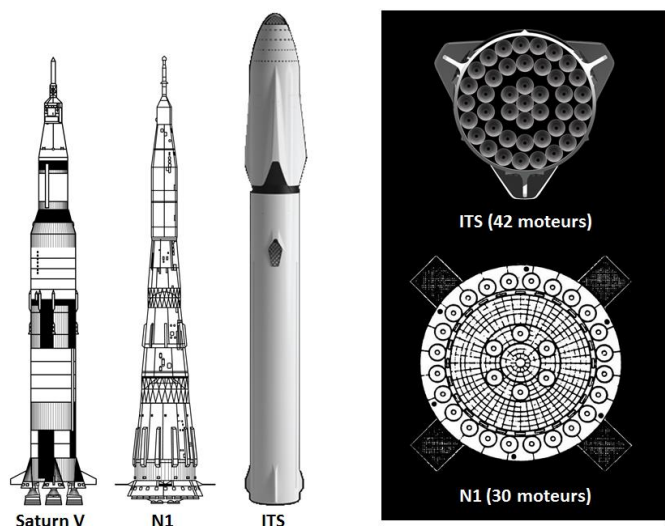
Le fait que l'énergie pouvant être captée diminue rapidement (comme la distance au carré) quand on s'éloigne du Soleil n'est par ailleurs pas le seul inconvénient de l'utilisation de panneaux solaires. Outre la difficulté de déployer, remiser à l'approche de Mars, puis redéployer sur le chemin du retour des panneaux de la taille de ceux présentés par Elon Musk, la disposition de ceux-ci impose de positionner en permanence le vaisseau de telle manière qu'ils soient correctement orientés vers le Soleil. Ceci ne permet pas d'envisager avec le type d'ITS proposé une quelconque création de gravité artificielle, ce qui n'est pas un inconvénient que pour des vols vers Jupiter ou Saturne. Dans l'optique d'un vaisseau interplanétaire destiné à transporter des passagers (et non des astronautes « aguerris »), il me paraît en effet difficile d'envisager de maintenir ceux-ci en condition d'apesanteur pendant une durée de séjour dans l'espace qui en tout état de cause atteindra plusieurs mois (3 au minimum pour Mars, plutôt 4 à 6)... même si Elon Musk a prétendu dans sa présentation que cela pourrait être un des aspects « fun » du voyage !

Lanceur (« booster », BFR)

L'utilisation d'un lanceur comportant un nombre très important de moteurs-fusées au premier étage est peut-être l'élément le plus discutable du concept d'ITS proposé par SpaceX. Je montrerai dans la deuxième partie qu'une telle configuration requiert des moteurs en question une fiabilité d'un niveau proprement « astronomique ». L'alimentation d'un tel ensemble de moteurs en ergols (CH₄/O₂ dans le cas présent) à partir des réservoirs conduit par ailleurs inévitablement à un enchevêtrement de tuyauteries, valves, pompes, qui constitue un vrai « cauchemar de plombier ». Et malgré cette extrême complexité, tout cela doit fonctionner sans faille. La moindre défaillance à ce niveau et c'est la catastrophe, comme l'ont malheureusement démontré les déboires de la fusée lunaire soviétique N1 à la fin des années 60, début des années 70, aucune des quatre tentatives de lancement n'ayant été couronnée de succès. Ce lanceur ne comportait pourtant « que » 30 moteurs, en comparaison des 42 du lanceur

BFR de SpaceX, dont l'assemblage est en outre beaucoup plus compact, ce qui ajoute encore une source de problèmes potentiels.

L'analyse des causes des accidents de la N1 montre par ailleurs qu'il a suffi le plus souvent d'un incident sur un seul des moteurs - suite à une rupture de canalisation, un problème de pompe, l'apparition d'oscillations (effet « pogo ») - pour précipiter la destruction complète du lanceur. Compte tenu en outre de la remarque précédente, cela jette un doute sur l'affirmation d'Elon Musk selon laquelle le nombre élevé de moteurs serait un facteur de sécurité car la mission pourrait se poursuivre même si un ou deux moteurs se révélaient défectueux.



Comparaison entre les lanceurs Saturn V, N1 et l'ITS de SpaceX.
(doc. SpaceX)

Il faut bien insister sur le fait que cela va au-delà de la question de savoir si on accepte de prendre des risques ou non. L'explosion sur son pas de tir d'un hyper-lanceur du type BFR aurait des conséquences absolument catastrophiques, non seulement en termes de pertes de vies humaines, de destruction du système de transport lui-même et des installations au sol, mais aussi dans l'opinion publique qui ferait alors très certainement fortement pression pour que l'on mette un terme définitif à cette trop dangereuse et coûteuse « aventure ».

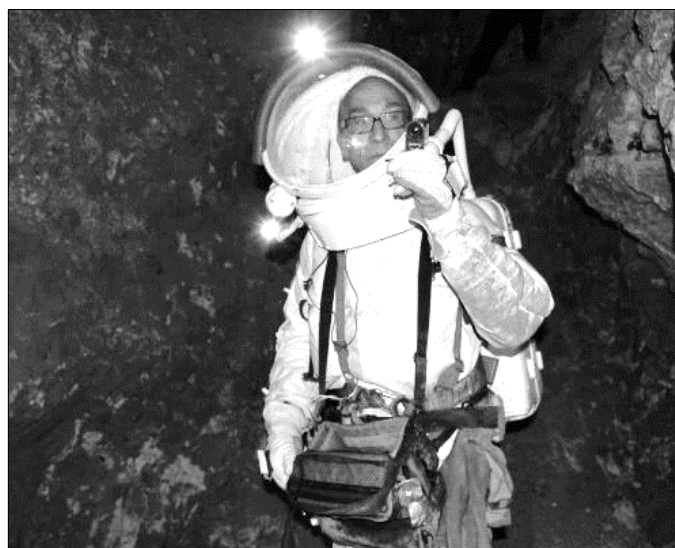
Pierre-André Haldi

2^{ème} partie : à paraître dans notre prochain numéro.

LA VIE DE L'ASSOCIATION

La période a été marquée par le très grave accident de santé (dissection aortique) survenu à notre président, Alain Souchier, le 6 novembre, à Liège, alors qu'il repliait l'exposition qu'il avait installée dans le cadre du « Salon InterMinéral ». Heureusement très vite secouru et opéré, il a cependant dû être maintenu sous coma artificiel pendant un mois. Mais il a ensuite recouvré un état fonctionnel satisfaisant et, par-dessus tout, démontré que ses facultés mentales étaient intactes. Il a pu rejoindre un hôpital parisien début janvier. Nous lui souhaitons patience et courage pour l'étape de remise en forme dans laquelle il est entré.

À bientôt, président !



Alain Souchier lors d'une de ses récentes activités « de terrain », la simulation dans la grotte des Dalles.
(doc. APM)

Notre Conseil d'Administration s'est réuni le samedi 19 novembre, au siège. Lucie Poulet signale que le deuxième European Space Generation Workshop (E-SGW) aura lieu à Paris les 24 et 25 mars 2017 ; il pourrait être intéressant qu'APM soit partenaire de l'événement.

A noter : notre prochaine AGO (suivie d'une conférence) se tiendra :

Samedi 18 mars, de 14h à 16h

Maison des Associations, 22 rue Deparcieux Paris XIV

MARS : COMMENT ? QUAND ? POUR Y FAIRE QUOI ?

Depuis le début de l'ère spatiale, les projets de débarquement sur la Planète rouge se sont succédés, à raison de presque un par an ! Et pourtant, en un demi-siècle de réflexions, de recherches technologiques et même, à plusieurs reprises, d'initiatives programmatiques, vite abandonnées, les puissances spatiales n'ont toujours pas franchi le pas. Certes, la volonté de relancer l'exploration spatiale, avec comme objectif final Mars, est proclamée, mais sans que soit prise la décision d'un programme structuré et cohérent.

Une telle décision est de nature politique, car elle implique l'allocation de ressources budgétaires publiques en vue d'un investissement à long terme. Les motivations pour les décideurs, de natures scientifique, économique, géopolitique et sociétal, sont développées dans notre ouvrage collectif (Embarquement pour Mars).

Mais, pour tous ceux qui, dans le public, s'intéressent à cette perspective, ce sont les questions sur la nature et la faisabilité du projet qui se posent en premier lieu. Les réponses qu'ils obtiennent varient naturellement en fonction de l'opinion de leurs auteurs. Dans ce qui suit, nous avons résumé les réponses qu'il nous semble raisonnable de donner aux plus significatives de ces questions.

Les débats pour ou contre le projet sont développés selon trois axes principaux :

-comment aller sur Mars : options et défis sur les plans technique et humain ;

-quand ira-t-on : question qui se traduit en termes politiques et budgétaires ;
-y aller pour y faire quoi : nature et intérêt des activités envisagées sur le sol de la planète.

Comment aller sur Mars

Cette cinquantaine d'années d'études de projets et de réalisations spatiales complexes a permis de débayer le terrain confus des options techniques.

Convergence sur la conception de la mission

Les points de vue sur l'architecture de mission ont largement convergé, même si une des options les plus visibles : faut-il s'élancer directement ou à partir d'un « relais » circumlunaire, est toujours discutée. D'un point de vue strictement économique, l'utilisation d'infrastructures lunaires ne pourrait se justifier qu'en présence d'un trafic volumineux (colonisation). Il existe, certes, des justifications scientifiques à un retour sur la Lune, mais pour Mars, ce détour retarderait l'objectif et le rendrait plus coûteux.

D'autres options déterminantes ont par contre été tranchées. Ainsi, le modèle « all in one » (lancement unique), retenu pour Apollo, a été abandonné au profit du modèle « split », dans lequel on expédie d'abord un maximum d'infrastructures en mode automatique, avant d'envoyer les astronautes à la fenêtre de tir suivante, ce qui accroît la sécurité. Autre exemple, la production in situ des ergols de retour, qui permet de réduire fortement la masse totale de l'expédition, option initialement considérée irréaliste, mais devenue un « must ».

Pour autant, il n'existe pas de modèle « canonique », car plusieurs options restent encore à trancher. Ainsi en est-il du compromis entre durées des transferts et masses de propergol : une durée courte est favorable à la santé des voyageurs mais accroît la masse, donc le coût opérationnel... Autre exemple : les missions successives doivent-elles viser des sites différents (maximisation des résultats scientifiques), ou au contraire atterrir toutes sur le même site, une façon efficace d'accroître la sécurité ?

Maîtrise-t-on les technologies ?

Cette question donne lieu à beaucoup de controverses et de déformations, résultant souvent de banales rivalités pour l'allocation des budgets de recherche technologique. Un exemple typique est le débat entre propulsions classique (chimique) et nucléo thermique ; les partisans du chimique considèrent que le développement d'un moteur nucléaire, trop long et trop cher, n'apporterait pas d'avantage décisif, alors que les supporters du nucléaire proclament que c'est la seule solution pour raccourcir la durée des transferts interplanétaires. Tout cela est faux, car trop radical.

En réalité, un demi-siècle de développement spatial nous a dotés de la quasi-totalité des connaissances, outils, savoir-faire et équipements requis. Quelle différence avec la situation indigente de l'astronautique américaine lorsque fut décidé le programme Apollo ! Il n'est donc vraiment pas raisonnable d'avancer l'argument d'impréparation pour s'opposer au projet. C'est vrai, il reste des exceptions, mais dont on sait qu'elles sont surmontables, pourvu qu'on s'y attaque. Citons principalement :

-le système de contrôle de l'environnement vital, complexe et critique pour la sécurité ;

-l'aérocapture, utilisant l'atmosphère pour capturer le vaisseau dans le domaine martien ;

-une connaissance fine des effets biologiques des rayonnements ionisants ;

-la production d'ergols in situ, qui présente un défi de fiabilité (non critique pour la sécurité).

La difficulté n'est pas de disposer de ces « briques », mais de construire, à partir d'elles, **un système capable d'assurer la réussite de la mission avec une probabilité acceptable**. Or, par rapport à la Lune, deux facteurs défavorables entrent en jeu : d'une part, la durée de l'expédition est très longue (30 mois), impliquant des taux de défaillance plus faibles et une architecture de mission résiliente, avec des modes secours ; d'autre part, les distances étant considérables, il est impossible d'apporter un secours matériel à l'équipage en cas de problème. Les années d'expérience accumulées permettront d'atteindre ces niveaux de qualité. Restera à le démontrer par un programme de qualification sans concessions.

L'Homme en est-il capable ?

Là encore, l'expérience des vols spatiaux de longue durée, recoupée par les leçons tirées des expéditions terrestres de l'extrême, permet de se rassurer, même si quelques préoccupations demeurent, nécessitant des investigations complémentaires.

Nous n'y incluons pas les effets de l'apesanteur, un des thèmes favoris pour entretenir le scepticisme autour du projet. En effet, la plupart des spécialistes considèrent que l'on a les moyens d'en juguler les effets, comme le démontrent les vols de longue durée. Par ailleurs, si nécessaire, il est possible de créer une pesanteur artificielle de façon assez simple, en reliant le vaisseau à l'étage propulsif ayant assuré l'injection en transfert par un câble et en mettant l'ensemble en rotation.

Au premier rang des réelles préoccupations, il faut placer la question des **rayonnements ionisants**, sujet particulièrement sensible, car touchant au cancer et sémantiquement proche de la radioactivité. Les voyageurs auront à faire face d'une part, aux *Solar Particle Events*, flux sporadiques de protons émis par le soleil, mais que leur énergie limitée rend faciles à arrêter ; il suffira de prévoir un réduit blindé où se réfugier en cas d'alerte, d'autre part, aux *Galactic Cosmic Rays*, dont le flux est faible mais permanent et qui comportent des particules à très haute énergie impossibles à arrêter. Bien que les doses reçues au cours de la mission respectent les normes internationales, elles restent conséquentes ; on cherchera donc à appliquer des améliorations, telles que : aménagement optimisé du vaisseau, accroissement des masses de propergol pour réduire les durées de transfert, meilleure connaissance des effets biologiques.

L'autre difficulté humaine souvent citée résulte des **facteurs de stress psychologiques** de la mission : confinement, socialisation, éloignement de la Terre, isolation totale, niveau de risque... De notre point de vue, les capacités déjà démontrées par les exploits terrestres d'explorateurs, d'aventuriers ou de sportifs de l'extrême permettent d'être confiants. À condition, bien entendu, que le processus de sélection des équipages couvre soigneusement cet aspect.

Quand ira-t-on ?

C'est une question fréquemment posée, qui se décompose en fait en deux sous-questions : quand le programme pourrait-il être décidé, et combien d'années devrait durer sa phase de développement, jusqu'au départ de la première mission opérationnelle ?

Le lancement du programme : une décision politique

La première sous-question est essentiellement d'ordre politique, car la décision implique l'allocation de ressources budgétaires publiques (même si des entrepreneurs privés contribuent au financement). Malheureusement, les décideurs sont essentiellement soumis à des enjeux de court terme : réélection pour l'homme politique, résultats financiers pour l'entrepreneur... Or, les retombées du projet sont à long terme, qu'il s'agisse des avancées scientifiques et technologiques ou des bénéfices politiques et sociétaux ! Il est donc très difficile de prédire une date pour cette décision capitale.

La durée du programme est fonction des budgets

La deuxième sous-question est en principe plus facile à cerner. Même s'il n'est pas rare de voir des grands programmes dépasser leurs budgets, les performances du secteur spatial sur ce plan sont plutôt bonnes, comparées à celles d'autres secteurs. À partir de la définition des exigences à atteindre, des tâches à accomplir et de la donnée des ressources budgétaires, il est possible de planifier le programme, et donc de définir à la fois le coût cumulé et la durée du développement. Pour cet exercice, la nécessité de prendre comme critère de valeur prioritaire le fait d'être **compatible avec les capacités budgétaires (affordable)** est capitale, mais pourtant trop souvent ignorée. Cela implique des approches de conception et de conduite de projet adaptées (faire simple, au juste besoin, focaliser et dynamiser les efforts, éviter les rentes de situation, les activités « alimentaires »...).

Les estimations de durée de développement varient de **8 à 15 ans**, suivant l'ampleur et la complexité du projet, et suivant l'origine de l'estimation (industriel établi, entrepreneur innovant, agence spatiale, commission d'experts). Huit ans est ambitieux et suppose la concordance de plusieurs facteurs favorables, mais considérer plus de quinze années n'a guère de sens, pour les raisons déjà évoquées d'obsolescence technique et politique.

Y aller, pour y faire quoi ?

Cette question, peut-être la plus pertinente, est curieusement moins souvent posée. En effet, c'est bien de savoir qu'on peut y aller et qu'on pourrait décider d'y aller, mais il reste à donner de la consistance et du sens aux activités qui y seront menées, non seulement lors des premières missions, mais aussi dans le futur. Un programme à horizon limité, par exemple à l'exécution d'une dizaine de missions temporaires d'exploration scientifique (à la Apollo) aurait plus de difficultés à susciter un soutien politique qu'un programme ouvrant sur des perspectives de développements futurs. La réponse à cette question est un des éléments de la proposition à faire aux décideurs.

À court terme

Il y a consensus sur l'intérêt considérable d'une présence humaine permettant de démultiplier l'efficacité de l'exploration scientifique de la planète, jusqu'ici handicapée par les limites opérationnelles des sondes robotiques. Il sera alors possible d'explorer beaucoup plus vite, de s'adapter aux résultats comme aux difficultés, enfin de réaliser des opérations difficiles à imaginer en mode robotique (par exemple le forage profond du sous-sol).

À moyen terme

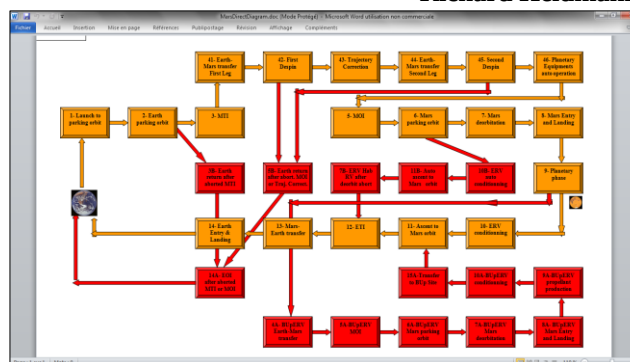
Les succès de la première phase d'exploration semi-permanente (la seule ayant fait l'objet d'études détaillées à ce jour) devraient conduire à l'installation d'une base permanente, sur le modèle

des bases de l'Antarctique, où un effectif plus important (10 à 20 personnes) séjournerait, éventuellement plus d'un cycle synodique. Les objectifs s'étendraient au développement des technologies d'utilisation des ressources locales. On aurait donc à la fois des retours à court terme, en prolongement de la phase précédente, et des résultats pour l'avenir concernant la mise en valeur des ressources martiennes. La population des astronautes devrait donc être partagée en scientifiques et ingénieurs-techniciens.

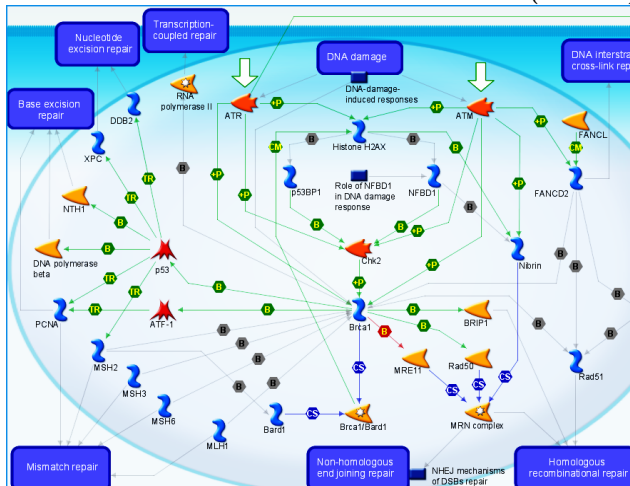
À long terme

Les activités qui viennent d'être évoquées trouveraient leur pleine utilité en tant que préalable à l'établissement d'une colonie. On change là de registre, car la colonisation reste une utopie, c'est-à-dire une perspective hypothétique. Les rares études sur ce concept posent peu la question de la nature des activités des colons, en particulier celles qu'ils devront offrir en termes de prestations pour rendre viable leur colonie, qui ne sera pas totalement autarcique. L'offre de résidence pourrait être le premier « business » martien... L'apparition de SpaceX, créée par Elon Musk précisément pour permettre la colonisation de Mars, et la révélation récente de son projet *Interplanetary Transport System* confèrent une nouvelle actualité à l'idée.

Richard Heidmann

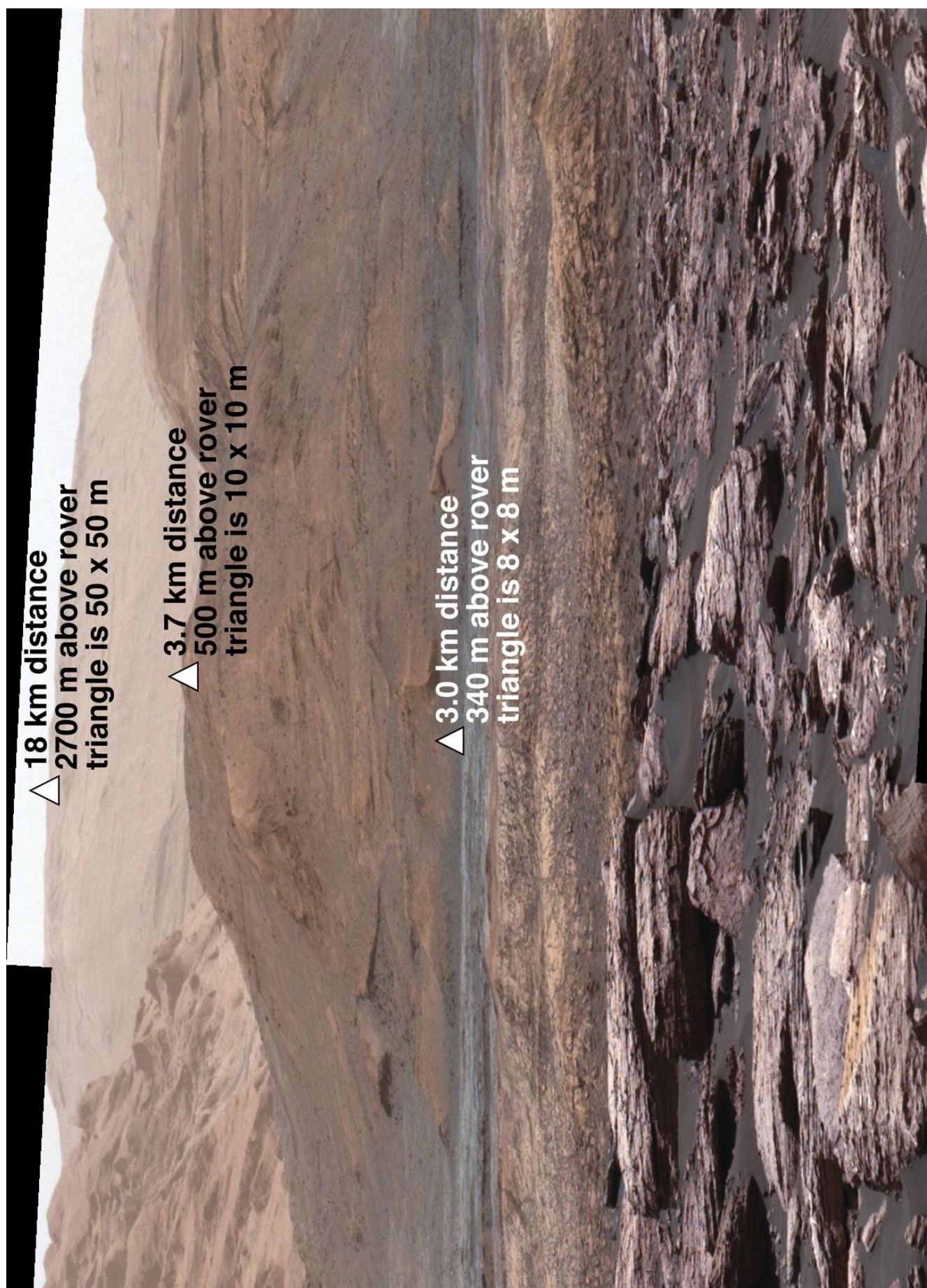


Exemple de modèle de résilience de mission (architecture Mars Direct). En orange, les phases nominales, en rouge les phases secours. (doc.APM)



Très partiel aperçu de l'arsenal de réparation de l'ADN. Plus de 700 protéines y participent ! Un trésor à exploiter. (DR)

Ont collaboré à ce numéro : Pierre Brisson, Pierre-André Haldi, Richard Heidmann
Achevé d'imprimer : QuadriCopie 27200-Vernon.
Dépôt légal : janvier 2017



Panorama capté par Curiosity le 10 novembre, avec indications sur la position des plans successifs du relief du Mont Sharp. Les nuances de couleur des roches donnent des indications sur la diversité de leur composition. (doc. NASA/JPL)