



PLANÈTE MARS



Numéro 16 *Bulletin de l'association Planète Mars, 28 rue de la Gaîté 75014-Paris* www.planete-mars.com

Juillet 03

ÉDITO : ATTRAITS, ENJEUX

Lors de notre Assemblée Générale du 29 mars, plusieurs de nos membres ont souligné l'intérêt qu'il y aurait à entreprendre une réflexion renouvelée sur les motivations du débarquement sur Mars. Il en est résulté la création d'un nouveau groupe de travail.

Peu d'organisations ont autant de légitimité que notre association pour entreprendre cette démarche. En effet, sa vocation de communication et de promotion, sa proximité avec le public, ses contacts avec les professionnels et la crédibilité que lui confère son statut d'acteur indépendant, en font un témoin privilégié du processus de gestation des décisions dans ce domaine de l'exploration de l'espace. Le large spectre des centres d'intérêt de nos membres, qui vont de la planétologie « dure » à la science-fiction, comme celui des compétences que nous réunissons, nous y préparent particulièrement.

Le moment est adéquat. Les États-Unis réfléchissent à ce que devra être le prochain grand programme leur permettant de continuer à exercer leur leadership ! L'Europe semble réaliser qu'il est temps de s'y préparer si elle veut un jour se placer en partenaire majeur. A nos yeux, le programme martien constitue pour elle le levier irremplaçable pour remettre à niveau son investissement spatial (aujourd'hui six fois moindre que celui des USA, au seul plan civil, pour une puissance économique équivalente...) et pour « recoller à la roue » du leader de l'innovation technologique. Aucun autre projet pacifique ne le permettra. Cette entreprise sera aussi un ciment puissant pour l'unité et le développement de l'Europe.

Le groupe a commencé par redéfinir son appellation : Attraits, Enjeux. Le mot motivation lui est en effet apparu trop réflexif : il ne s'agit pas tant de définir ce qui *nous* motive que d'identifier avec précision les attraits (ce qui intéresse et passionne le public) et les enjeux, scientifiques, économiques, politiques et de société. Beaucoup a déjà été écrit sur le sujet, mais l'évolution du contexte et les prises de conscience justifient un rafraîchissement des idées.

Richard Heidmann, Président de « Planète Mars »

Dans ce numéro :

- Edito : attraits, enjeux p. 1
- Microgravité / absence de gravité p. 1
- Les racines d'un cratère p. 1
- Science martienne : compte rendu de Houston p. 3
- La vie de l'association p. 4
- L'image du trimestre p. 4
- Ergonomie et psychologie sur Mars p. 8

prochain numéro : octobre 2003

MICROGRAVITÉ / ABSENCE DE GRAVITÉ (partie 1 / 2)

un rapport du groupe de travail sur les aspects médicaux et sanitaires des vols habités

NOTA : les références bibliographiques figureront à la fin de la 2^{ème} partie

Après les radiations, la microgravité puis l'apesanteur sont le deuxième écueil auquel les astronautes seront confrontés. De multiples effets sont à redouter, principalement sur le système cardiovasculaire et le système ostéomusculaire.

1. INTRODUCTION

L'organisme humain est soumis au champ de gravité terrestre, lequel conditionne plusieurs fonctions biologiques. De multiples situations médicales démontrent le rôle de la pesanteur, par exemple les œdèmes déclives : l'eau se déplace dans le corps vers les zones les plus basses ; les douleurs en rapport avec l'arthrite des membres inférieurs (artères bouchées) se calment en position debout, parce que cette position augmente la pression de perfusion en ajoutant le poids de la colonne sanguine.

L'alitement prolongé en réanimation provoque une fonte musculaire et une déminéralisation osseuse ; se relever après un alitement prolongé provoque souvent des malaises d'hypotension orthostatique.

(suite page 5)

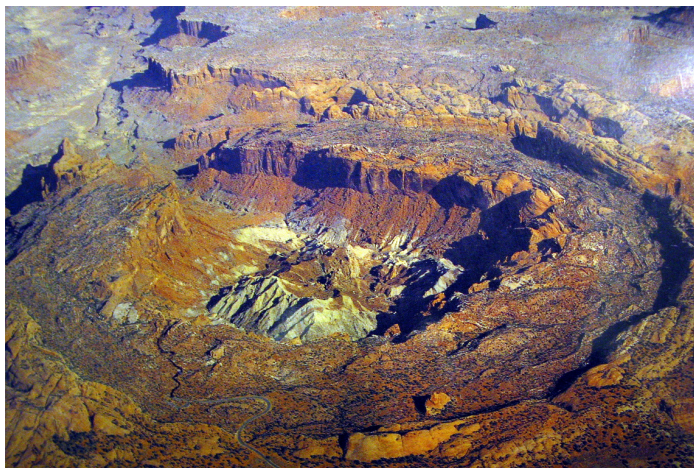
LES RACINES D'UN CRATÈRE

Samedi 16 novembre 2002. Il y a une semaine que je séjourne dans la station MDRS de la Mars Society dans l'Utah. Aujourd'hui, l'objectif de notre sortie est le cratère météoritique d'Upheaval Dome dans Canyonland National Park. Nous y allons dans le camion qui tient lieu de « rover pressurisé ». Quatre heures de route. Charles Frankel, Stacy Cusack et moi avons passé les combinaisons des scaphandres pour le voyage.



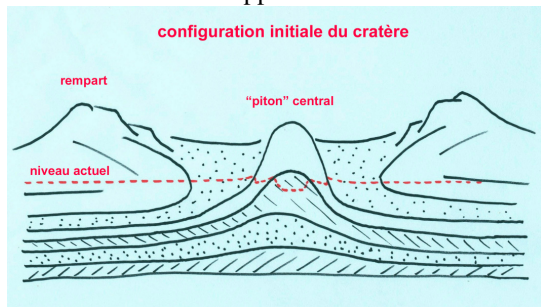
Charles (n°6) et Stacy (n°2) observant la brèche creusée par le torrent dans le côté est du cratère

Lorsque nous nous arrêtons pour quelques courses, un Américain nous demande en riant si nous sommes radioactifs. Au terminus de la route, nous complétons l'habillement, comme il s'agirait à un monde sans atmosphère, et entamons la petite montée de 15 mn qui nous conduit au bord du cratère. En fait, nous sommes au bord du cratère intérieur de 1 500 m de diamètre et 400 m de profondeur ; un autre anneau de falaises de 3 000 m de diamètre nous entoure et, si l'on examine une carte, on détecte une structure circulaire encore plus vaste de 6 à 7 km de diamètre.



Upheaval Dome (doc. Tom Till)

L'origine de la structure Upheaval Dome a longtemps fait l'objet d'une controverse : les géologues avaient interprété le gonflement des strates caractérisant la zone comme le résultat de la montée d'un dôme de sel sous-jacent. Ce genre de phénomène se produit sur le long terme. Le sel, moins dense que les couches calcaires situées au-dessus, monte progressivement sous la poussée d'Archimède, déformant les strates supérieures. L'érosion aurait ensuite fait apparaître les structures circulaires.



L'érosion a enlevé 1 km des couches supérieures du cratère

Mais le célèbre planétologue Eugene Shoemaker et son collègue K. E. Herkenhoff, en étudiant Upheaval Dome à partir de 1983, sont arrivés à établir l'origine météoritique de la formation. Des « cônes de percussion » ont pu être repérés dans les strates de grès ; or ces textures coniques de quelques millimètres à quel-

ques décimètres sont le résultat de la propagation des ondes de choc dans les roches. Elles ne sont produites que par les impacts de météorites. De plus des sondages sismiques ont démontré l'absence d'un dôme de sel sous la structure.



17/11/02 : Hilary Bowden, Derek Shannon et Pierre-Emmanuel Paulis plantent le drapeau de Mars au bord d'Upheaval Dome (mais le site appartient toujours au Canyonland National Park).

En fait, le cratère en deux cercles concentriques visible aujourd'hui n'a plus rien à voir avec le cratère météoritique des origines. La zone que nous avons parcourue est celle du rebond des strates au centre du cratère, rebond qui se produit après le trou initial, quand les roches retrouvent un point d'équilibre. C'est ce rebond qui produit les massifs montagneux visibles au centre des cratères sur la Lune, Mars ou tous les corps cratérisés du système solaire. En 60 millions d'années, l'érosion a enlevé une épaisseur de rocs évaluée à plus d'un kilomètre et gommé les remparts du cirque initial qui pouvait atteindre 10 km de diamètre.

Selon la règle qui énonce que la météorite est 20 fois plus petite que le cratère formé, c'est donc un corps céleste de 500 m de diamètre qui a frappé ce coin de Terre, à peu près à la même époque que l'astéroïde « de la disparition des dinosaures » au Mexique, à Chicxulub. Mais celui-là devait presque atteindre 10 km. Aujourd'hui le cratère du Chicxulub est enfoui sous les sédiments. Ici, à Upheaval Dome, c'est le contraire. La vigueur de l'érosion, beaucoup plus importante sur notre planète que sur la Lune ou Mars, en particulier grâce à l'action de l'eau liquide, nous permet de contempler, comme peut-être nulle part ailleurs dans le système solaire, les racines d'un cratère.

Alain Souchier



Charles Frankel et panorama du cratère central de Upheaval Dome

SCIENCE MARTIENNE : COMPTE RENDU DE HOUSTON

Alors que trois nouvelles sondes voguent vers la planète rouge, Mars Global Surveyor (en fin de vie) et Mars Odyssey (en plein travail) transmettent un flux continu de données. Comme tous les ans, le *Lunar and Planetary Science Conference*, qui s'est tenu en mars à Houston, a permis de faire le point.

Au bilan de Mars Odyssey, une bonne nouvelle est la mesure des radiations, solaires et cosmiques, en orbite martienne. Bien que des éruptions solaires aient épisodiquement affolé les capteurs (1 rad le 28 octobre 2002), le bilan annuel ne dépasse pas 30 rads, c'est-à-dire 0,3 Sievert. Sur le sol de Mars, cette valeur est réduite au moins de moitié (les radiations ne viennent plus que du ciel, la masse de la planète bloquant celles des autres directions), de sorte qu'un astronaute en mission sur Mars — un an de voyage, un an et demi au sol — ne cumulerait que 0,5 Sievert environ. C'est bien en deçà de la valeur maximale tolérée par les médecins (1 à 4 Sieverts sur l'ensemble d'une carrière), ce qui désamorçait l'une des principales critiques élevées à l'encontre des missions habitées.

Une géologie complexe

En matière de géologie martienne, les résultats d'une année d'exploitation de la sonde Mars Odyssey sont venus s'ajouter à la manne d'informations accumulée depuis 1997 par son prédécesseur Mars Global Surveyor. Leurs données sont complémentaires en termes d'images, dans la mesure où Mars Odyssey procure une vision à plus grande échelle (20 m de résolution en lumière visible) que Global Surveyor (5 m). Les images sont moins précises mais plus vastes. D'autre part, la nouvelle sonde étend la fenêtre des fréquences captées du visible à l'infrarouge lointain, fréquences qui permettent de mesurer la chaleur et donc l'inertie thermique du sol. La résolution est de 100 mètres dans ces fréquences. À la nuit tombée, une plus grande inertie thermique (sol plus chaud que la moyenne) trahit un haut pourcentage de roches, rétentrices de chaleur, alors qu'une faible inertie thermique (le sol se refroidit rapidement) indique de la poussière ou du sable. Ainsi devine-t-on sur les images infrarouge que le lit d'Ares Vallis est encombré de rochers, alors que les bassins en sont passablement dépourvus.

En combinant les images prises avec différents filtres, on peut mettre en évidence certains minéraux qui ont une signature spectrale bien reconnaissable, comme l'olivine ou le pyroxène (constituants majeurs des laves basaltiques). On trouve ainsi des bandes de terrain, au fond de Valles Marineris, qui trahissent une forte concentration d'olivine. Certains en tirent la conclusion que de grands lacs n'ont pas pu stagner longtemps au fond du canyon, sinon l'olivine se serait transformée en serpentine (sa forme hydratée) et se serait faite plus discrète. Affaire à suivre...

À une échelle globale, les géologues reconnaissent deux provinces minérales sur Mars. L'une paraît représenter du basalte (ou plus précisément du basalte andésitique) : elle se cantonne aux vieux plateaux cratérisés qui s'étendent surtout dans l'hémisphère austral. En revanche, dans les bassins du nord, les signatures spectrales s'apparentent plus à de l'andésite (une lave plus siliceuse), ou bien à du basalte altéré, ce qui serait logique en regard de l'hypothèse qui veut que d'anciens océans aient perduré dans ces bassins. Notons toutefois que la poussière qui recouvre les rochers peut aussi « biaiser » le signal. Mais on échafaude déjà des scénarios de vol-

canisme martien, basés sur ces données. Le géologue Harry McSween n'hésite pas à suggérer que ces relevés orbitaux nous renseignent sur le volcanisme ancien de Mars, lorsqu'un magma riche en eau aurait donné ces basaltes andésitiques et ces andésites. Les basaltes présents dans la collection des météorites martiennes (*Shergottites*), qui sont très jeunes (170 millions d'années), indiqueraient que le manteau martien s'est ensuite appauvri en eau, donnant des laves « sèches » et peu siliceuses.

Outre le volcanisme, notons que la caméra infrarouge Themis n'a toujours pas détecté de larges dépôts sédimentaires riches en carbonates, auxquels on s'attendrait si de grands océans ont perduré à la surface de Mars. En revanche, la signature spectrale de la planète rouge admet comme solution un faible pourcentage (2 à 3 %) de carbonate de magnésium, mélangé au sol sous forme de poussière. Également à vérifier...

Un autre minéral repéré par les spectromètres est la « plage » d'hématite grise sur l'équateur (Terra Meridiani), où doit se poser l'une des sondes MER. On a un peu trop vite affirmé que l'hématite grise a été formée dans des plans d'eau (notamment sous forme de *goethite*, un hydroxyde de fer qui se serait ensuite « séché » en hématite). Certains font remarquer qu'une patine d'hématite peut se former à la surface de roches en présence de très peu d'eau. Le rover américain devrait pouvoir lever le doute, lors de son exploration du site en janvier prochain.

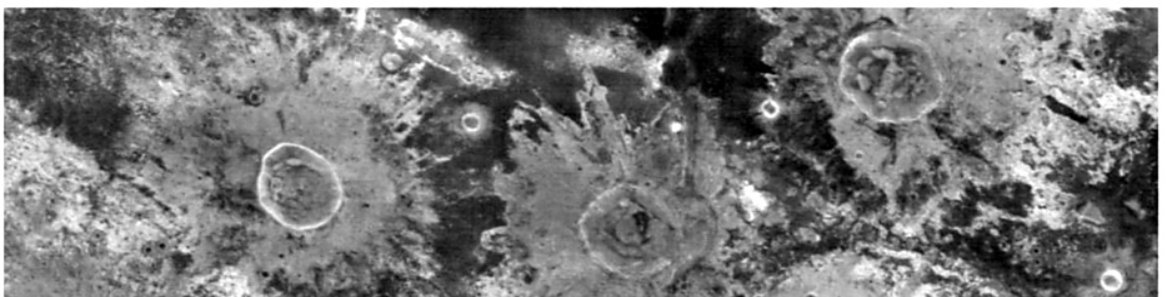
L'eau sur Mars

Le leitmotiv de l'eau sur Mars, on le sait bien, fascine autant les chercheurs que le grand public. Il est souvent mal compris. Certains journalistes en France continuent à faire planer le doute quant à la nature de la glace au pôle nord de Mars. Or, il s'agit bien de trois kilomètres d'épaisseur de glace d'eau (mêlée d'un peu de poussière), la calotte ayant l'étendue du Groenland. Fondue et étalée sur toute la surface de Mars, elle constituerait un océan global profond de 30 mètres !

Ce qui est nouveau, c'est la quantité de glace emprisonnée dans le sous-sol à différentes latitudes. Du bord de la calotte (75°) jusqu'à 60° de latitude, un manteau de poussières glacées épais de plusieurs mètres semble recouvrir tout le paysage. En dessous de 60° de latitude et jusqu'à 30° environ, les photographies à haute résolution montrent un terrain « dessiqué », comme si les premiers mètres avaient perdu leur eau, laissant un sol poreux et poudreux, s'apparentant à du loess. À noter que les célèbres ravines (*gullies*), qui évoquent des écoulements d'eau liquide, sont justement concentrées dans cette bande de latitudes.

Reste à expliquer comment des écoulements peuvent avoir lieu aux températures et aux pressions actuelles. En fait, les chercheurs penchent pour des cycles astronomiques — de type Milankovitch — qui voient l'axe de rotation de Mars s'incliner de ses quelque 27° actuels jusqu'à plus de 40°, avec des saisons accentuées et un plus grand ensoleillement des pôles. D'après ces modèles, une inclinaison (obliquité) de 30° a été atteinte, il y a 400 000 ans ; de 34° il y a 600 000 ans ; et de 42° il y a cinq millions d'années. Cela cadre avec l'aspect très jeune des ravines qui pourraient dater de ces périodes « interglaciaires ». La découverte de Mars avance sur tous les fronts...

Charles Frankel



Vue de nuit : contrastes thermiques sur les terrains anciens cratérisés (doc. NASA/JPL/Arizona State University)

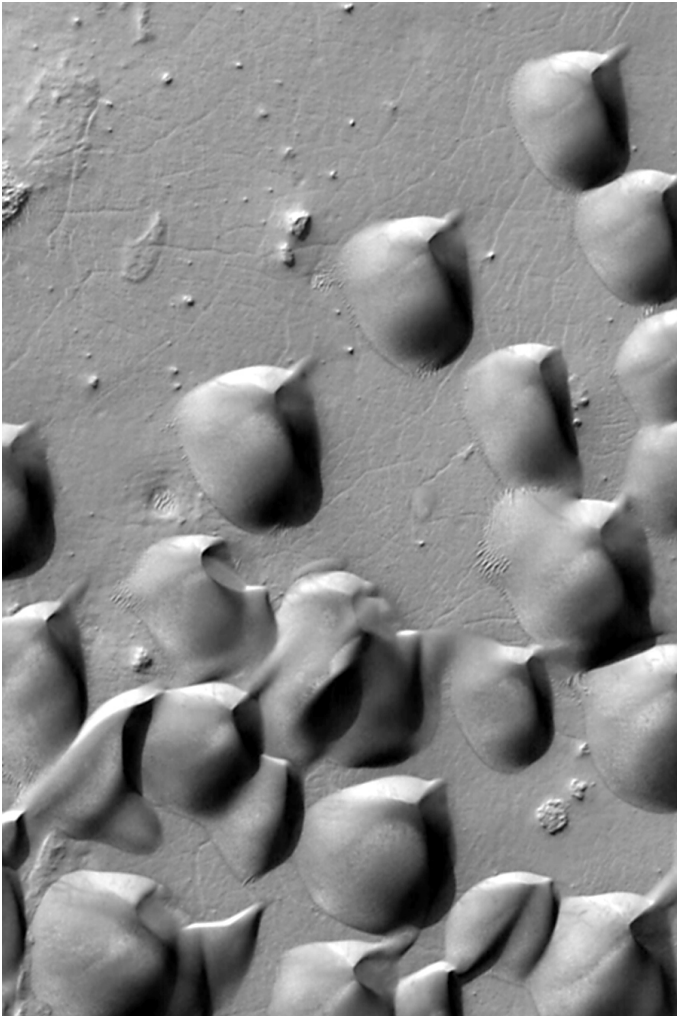
L'IMAGE DU TRIMESTRE :

Le cratère Wirtz

Les champs de dunes de sable, qu'ils se trouvent sur Terre ou sur Mars, sont fréquemment d'une beauté émouvante. Les lignes pures et effilées des dunes tranchent souvent avec le reste des paysages sur lesquels elles se forment et évoluent. Vous l'aurez sans doute remarqué, ces formations superficielles sont abondamment décrites sur la partie Internet de cette chronique.

Voici, pour ne pas faire défaut à cette constatation, un splendide cliché d'un champ de dunes, localisé au fond d'un cratère d'impact peu connu : le cratère Wirtz, du nom de l'astronome allemand Carl Wilhelm Wirtz (1876-1939). Situé par 48,6°S et 25,5°W, le cratère Wirtz fait 129 km de diamètre environ et n'est pas particulièrement disposé à être le siège d'un tel spectacle. En fait, vu depuis l'orbite à moyenne résolution, ce cratère est pareil aux autres : banal, commun, peu intéressant. Et pourtant !

Une fois encore, grâce à la sonde MGS et à sa caméra MOC, la haute résolution nous fait pénétrer dans l'intimité de Mars et nous fait découvrir, au fond du cratère Wirtz, de superbes dunes noires. L'orientation et la forme des dunes nous indiquent que les vents dominants ont soufflé du bas gauche vers le haut droite du cliché (transportant les sables du sud-ouest vers le nord-est).



(doc. NASA/JPL/Malin Space Science Systems)

Plusieurs points attirent néanmoins notre attention :

1. les dunes noires ne semblent plus en équilibre avec les conditions morphoclimatiques actuelles martiennes, comme nous l'indique la présence de toutes petites dunes, beaucoup

2. plus claires, superposées aux pieds des dunes noires ainsi qu'au fond de certains petits cratères d'impact voisins ;
3. les dunes noires sont partiellement dégradées en siouf et sont coalescentes ce qui signifie que les vents dominants n'ont pas toujours été orientés dans la même direction ;
4. les petites dunes claires sont orientées perpendiculairement aux dunes noires ;
5. enfin, le fond du cratère Wirtz que recouvrent ces dunes est constellé d'une mosaïque tout à fait caractéristique des sols de hautes latitudes terrestres : les sols polygonaux.

Ce cliché date du début du mois d'octobre 2002 et couvre une région de 3 km de large ; la lumière solaire provient du haut gauche du cliché.

Gilles Dawidowicz

Retrouvez chaque semaine cette chronique et ses archives sur le site Internet de l'Association www.planete-mars.com

LA VIE DE L'ASSOCIATION

PLANÈTE MARS

Le Conseil d'Administration (CA), renouvelé partiellement lors de l'Assemblée Générale Ordinaire du 29 mars dernier, s'est réuni le 10 mai. Il a désigné Christophe Vaglio comme secrétaire et a reconduit les titulaires des autres fonctions.

Renouvellements et recrutement

Lancement d'une opération de promotion du 1^{er} juin au 14 juillet pour les renouvellements et les nouvelles inscriptions, en partenariat avec *Espace Magazine* et à l'occasion du lancement des sondes 2003 (détails sur le site).

Manifestations et conférences (les informations seront développées en temps utile)

A l'occasion du rapprochement de Mars, elles sont nombreuses. Deux grandes journées et une soirée Mars, avec observation en direct, sont prévues les 7 et 8 août à Triel-sur-Seine (78), en partenariat avec le Parc aux Étoiles : présence, entre autres, du professeur Audouin Dollfus, de Gilles Dawidowicz, d'Alain Souchier. Le 8 août, dans le cadre de la *Nuit des Étoiles* à Saint Michel l'Observatoire (04), Richard Heidmann participera à un débat sur le thème de l'Homme sur Mars. La SAF organise du 23 au 31 août des observations de Mars et du ciel profond dans le Savinois à Saint-Appolinaire (05) avec l'Association Astro Guil ; l'APM participera à cette manifestation : stand et conférences. Un événement est également prévu à la Cité de l'Espace de Toulouse pour le week-end de l'opposition (29 au 31 août). Pour la Fête de la Science, du 13 au 20 octobre, l'APM est impliquée à quatre endroits : conférence le 13 à Épinal, partenariat dans l'organisation d'une manifestation à Étampes, stand et conférences à l'INSA de Rouen (Lionel Cousin, Richard Heidmann et Dominique Guillaume), ainsi que sur le site de Rochechouart (Charles Frankel et Bertrand Spitz). Signalons également notre présence à la Cité des Sciences et de l'Industrie, de juillet à septembre, dans le cadre de l'exposition *Sciences-Actus* sur Mars.

Sponsoring

Pierre Brisson, commissaire aux comptes de l'APM, a donné son accord pour prendre la responsabilité du sponsoring de l'association. Nous nous réjouissons de ce renfort de qualité, qui va permettre de dynamiser nos démarches.

Euro-MARS

Des pistes intéressantes sont poursuivies en matière de soutien et de partenariat. Nous discutons d'une exposition préalable en Europe.

Les groupes de travail

Cinq groupes de travail existent aujourd'hui : *architecture martienne*, animé par Pierre Brulhet, qui travaille actuellement sur des projets de maquette d'exposition ; *aspects médicaux*, animé par Christophe Kueny, qui vient de produire une note sur les effets cardiovasculaires de l'apesanteur (1^{ère} partie dans ce numéro) ; *simulation de base martienne*, animé par Marc Salotti, qui commence à prendre en compte les aspects psychologiques, en liaison avec des chercheurs ; *astronautique*, animé par Richard Heidmann, dont le sous-groupe le plus actif est celui sur la *sécurité*, animé par Stéphane Grès ; *véhicule de reconnaissance de paroi*, animé par Alain Souchier, dont le « démonstrateur » sera exposé cet été à la Cité des Sciences et de l'Industrie et en octobre à Rouen. Plusieurs membres de l'association se sont déclarés intéressés par une réflexion sur les motivations pour l'arrivée de l'Homme sur Mars ; un groupe de travail sur ce sujet, animé par Sylvain Raimbault, est en cours de constitution et va commencer prochainement une démarche dont nous attendons beaucoup.

Le Bourget 2003

APM était présent au salon grâce à nos amis d'*Espace Magazine* qui distribuaient notre brochure dans l'excellent premier numéro de leur revue (disponible en kiosque).

Au Musée de l'Air et de l'Espace le 21 juin, Hubert Curien a remis à Christian Lardier, membre fondateur de notre association et chroniqueur spatial bien connu d'*Air&Cosmos*, le prix « Albert Ducrocq » décerné par l'AAAF. Ce prix, remis pour la première fois, est destiné à récompenser ceux qui poursuivent avec passion, compétence et talent la promotion des activités spatiales auprès du grand public.

Le même jour, Richard Heidmann était invité aux côtés du professeur Jaques Blamont et des astronautes Jean-Pierre Haigueré et Michel Tognini, à un débat public sur l'Homme dans l'espace, co-organisé par l'ESA et le Figaro. Un moment d'échange très enrichissant, animé par Fabrice Nodé-Langlois, dans le cadre prestigieux et très « martien » du pavillon de l'agence spatiale européenne.

MARS SOCIETY

Nous vous incitons tout spécialement à participer cette année au congrès annuel de la Mars Society, qui se tiendra du 14 au 17 août à l'hôtel Hilton de la ville d'Eugene (Oregon, côte ouest des États-Unis). Il s'agit d'une très belle région de forêts et le programme promet d'être particulièrement intéressant, compte tenu de l'actualité scientifique (résultats des sondes déjà à l'œuvre, attentes des missions 2003), et des activités de l'association (campagne d'un mois dans l'île de Devon, bilan des campagnes de l'Utah, projets Translife Mars Gravity Biosatellite, Euro-MARS, Analogues de Rovers). Mais vous pouvez aussi prévoir une présence à la 3^{ème} conférence européenne, organisée à Brême par nos amis allemands du 27 au 29 septembre, conjointement avec le congrès de la Fédération Internationale d'Astronautique (IAF) et le « Space Generation Congress » !

Christophe Vaglio, Secrétaire

Ont collaboré à ce numéro : Gilles Dawidowicz, Charles Frankel, Richard Heidmann, Christophe Kueny, Amaury Solignac, Alain Souchier, Christophe Vaglio

(Suite de la page 1 : microgravité / absence de gravité)

L'alitement (bed-rest) est le simulateur de microgravité de référence, mais ne peut cependant tout simuler, comme par exemple les effets vestibulaires.

Il sera sans doute possible de compenser ou même de supprimer complètement l'absence d'effet de la gravité (toujours présente).

Au total, les effets principaux concernent le système cardiovasculaire, ostéomusculaire et vestibulaire et accessoirement d'autres anomalies : érythropénie, modifications hormonales, métaboliques, immunitaires.

2. DÉFINITION DE LA MICROGRAVITÉ / APESANTEUR

Les images de cosmonautes flottant dans la cabine de l'ISS laissent penser qu'ils ne sont plus soumis à la gravité terrestre. En réalité, ils sont sous l'emprise du champ gravitationnel de la Terre en situation de chute perpétuelle (théorie de la gravitation [1]). Des mesures à bord montrent qu'il existe encore des variations mesurables de l'accélération, d'où le terme « microgravité ». Les futurs voyageurs pour Mars seront physiologiquement pénalisés par la microgravité ou l'apesanteur durant le trajet.

3. EFFETS CARDIOVASCULAIRES

L'œdème facial en cours de vol est un des effets les plus visibles et spectaculaires illustrant la modification de la répartition des fluides [2]. La progression des recherches sur la distribution organique des fluides en apesanteur est gênée par certains écueils.

Pour l'étude du système vasculaire, des biais surviennent dès le décollage : le stress, la restriction hydrique volontaire avant le départ, la position allongée durant le vol, etc. modifient le résultat des dosages hormonaux et les volumes excrétés. Pendant le vol, le recueil d'échantillons reste très limité. Le rythme nyctéméral est très perturbé et il est difficile d'évaluer les conséquences exactes de ces perturbations. En vol, il n'est pas possible de suivre absolument l'ensemble des variables. Le matériel n'est pas toujours le plus adapté pour le recueil et le stockage des échantillons. Les expériences d'alitement prolongé ont pour but d'aller plus avant dans la compréhension de la physiologie cardiovasculaire, des mouvements hydro-électrolytiques et hormonaux induits par les vols spatiaux.

3.1. Rappel simplifié de physiologie cardiovasculaire

3.1.1. La circulation et les différents régimes de pression

La circulation sanguine est une boucle en 8 dont le croisement est le cœur. Le débit cardiaque moyen (noté Q) est de 5 litres par minute. En partant du ventricule gauche, le sang circule dans l'aorte, les artères, les artérioles, les capillaires périphériques, les veinules, les veines, les veines caves et rejoint enfin l'oreillette droite : circulation systémique. Le sang entre ensuite dans le ventricule droit, l'artère pulmonaire, les capillaires pulmonaires, les veines pulmonaires et revient vers l'oreillette gauche : circulation pulmonaire.

Le sang est éjecté sous pression dans des vaisseaux de calibres de plus en plus petits. Ces rétrécissements offrent une résistance et, comme pour le courant électrique, il existe une relation entre la pression, la résistance et le débit. Les pressions de la grande circulation sont élevées, celles de la petite sont basses.

SCHEMA DE LA CIRCULATION

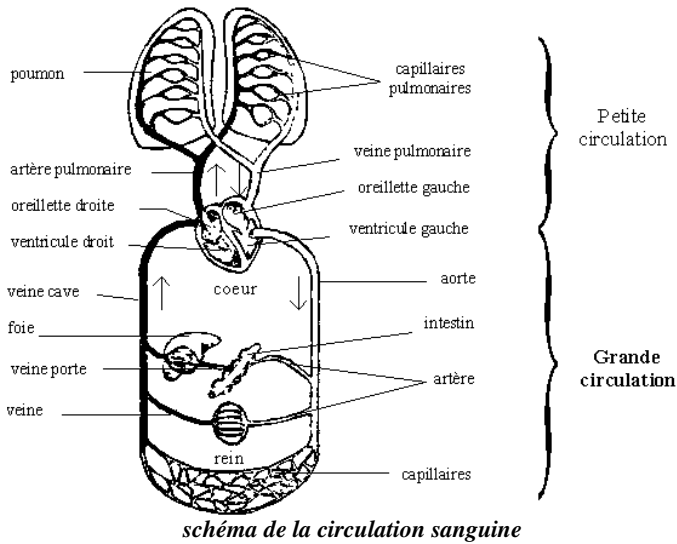
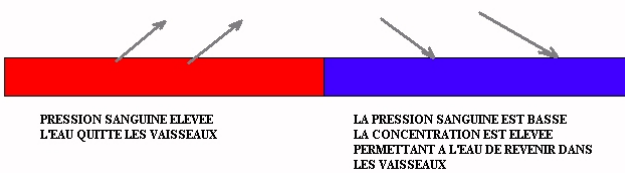


schéma de la circulation sanguine

Les pressions artérielles vont de 120 mmHg à 80 mmHg dans des conditions physiologiques normales et en position couchée. Le régime de pression veineux est beaucoup plus bas, de l'ordre de 4 à 6 mmHg. Dans la petite circulation, les pressions sont moindres : 24 mmHg en artériel pulmonaire.

3.1.2. Pression hydrostatique et mouvements hydriques

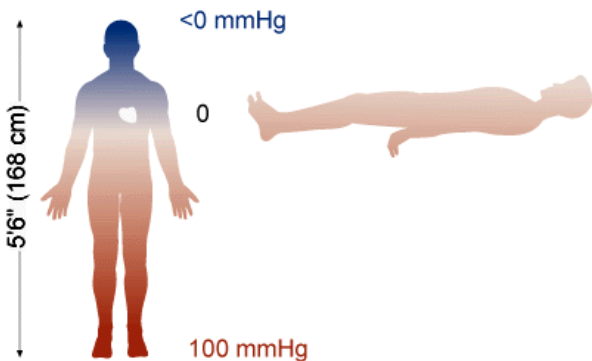
Ce rappel de physiologie est important pour comprendre certains phénomènes concernant les mouvements hydriques en l'absence de pesanteur. Au niveau des capillaires, sur le versant artériel, la pression d'environ 40 mmHg permet une perspiration d'eau à travers la paroi vasculaire. Cette perte d'eau intravasculaire crée une augmentation de la concentration du sang, car les protéines sanguines restent dans les vaisseaux. La pression osmotique atteint les 25 mmHg sur le versant veineux. Cette augmentation entraîne un appel d'eau en intravasculaire. Ces échanges d'eau s'accompagnent d'échanges électrolytiques, de nutriments et de déchets.



échanges hydro-électrolytiques pré- et post-capillaires

3.1.3. Le système nerveux autonome et son rôle vasculaire, adaptation à la station debout

En position debout, la gravité intervient : le poids de la colonne liquide augmente la pression de 100 mmHg.



L'organisme est parfaitement adapté à ce phénomène et, lorsque l'on passe de la position couchée à la position debout, des mécanismes de régulation agissent (système nerveux autonome orthosympathique) pour compenser la redistribution sanguine vers le bas : discrète accélération du rythme cardiaque ainsi qu'une vasoconstriction qui maintiennent ainsi la pression sanguine. Lorsque ce mécanisme fonctionne moins bien, ou est perturbé, le lever se solde par un étourdissement pouvant aller jusqu'à la perte de connaissance. Il s'agit d'une hypotension orthostatique qui disparaît dès qu'on s'allonge.

3.2. Modifications induites par le vol

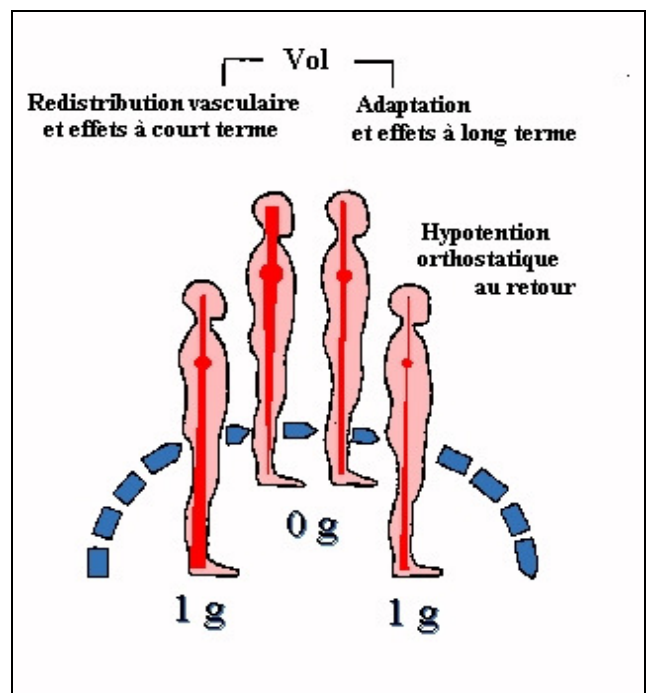
Elles sont explorées depuis près de trente ans. La redistribution des volumes vasculaires provoque des effets immédiats et une adaptation se met en place pour compenser au long cours l'ensemble des effets.

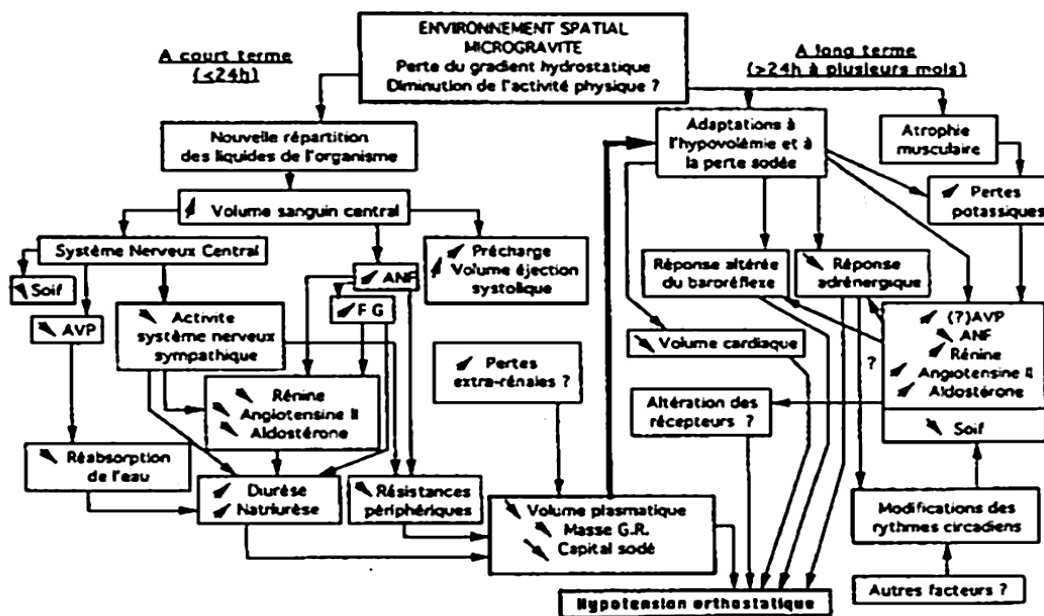
3.2.1. Modifications précoces

En vol, la composante hydrostatique de la pression sanguine est abolie. Les vaisseaux sanguins sont entre autres constitués d'une gaine musculaire lisse, responsable d'un tonus musculaire. Ce tonus, sur le versant veineux, tend à envoyer le sang vers le centre de l'organisme dès l'apparition de la microgravité [3]. Il en résulte une distension des gros vaisseaux veineux et de l'oreillette droite.

L'œdème de la face en est le reflet ; cette distension veineuse est comptée comme un facteur aggravant du mal de l'espace (qui sera abordé ultérieurement), avec son cortège de céphalées et de nausées. Ce stimulus est interprété par l'organisme comme une hypervolémie. En réalité, ce n'est qu'une redistribution des volumes.

Mais le résultat sera une élimination de l'excès d'eau, que cette perception soit juste ou non. Le « fluid shift » (déplacement liquidien) est évalué de 1 500 à 2 000 ml [4]. Le mécanisme de cette adaptation reste encore partiellement mystérieux. Les premières heures en vol se traduisent par une diurèse accrue, essentiellement en raison de modifications hormonales : inhibition de la vasopressine et de l'aldostérone et augmentation du facteur natriurétique atrial entraînant une fuite hydrosodée accrue [5].





hypothèses concernant les réponses endocriniennes et cardiovasculaires [5]

Le schéma ci-dessus illustre la complexité des interactions en jeu dans ces modifications et permet de voir les connexions avec les modifications plus durables ainsi qu'avec l'ensemble supposé des régulateurs.

La pression artérielle elle-même ne varie que très peu à la baisse, dans des limites non perceptibles pour le sujet. Elle varie néanmoins selon l'endroit : augmentation dans les artères carotides, baisse initiale dans les artères rénales. Les pressions veineuses varient en fonction de leur localisation : très nettement abaissées dans les jambes, quatre fois plus élevées dans les veines jugulaires à titre indicatif [6]. Ces variations sont à l'origine du faciès « bouffi » des spationautes.

La pression carotidienne augmente, donc les barorécepteurs carotidiens sont stimulés, donc le tonus orthosympathique diminue d'où vasodilatation, baisse du tonus musculaire lisse veineux et bradycardie. Cet enchaînement est théorique, et n'a pas pu être observé réellement, d'autres facteurs biaisant les mesures : stress du lancement créant au contraire une augmentation du tonus orthosympathique. L'augmentation du retour veineux entraîne une élévation de la précharge et donc du volume systolique. Cela contribue à la baisse de la fréquence cardiaque.

3.2.2. Adaptation sur la durée

L'adaptation sur la durée correspond à une forme d'homéostasie nouvelle répondant à la condition d'absence de gravité. Une fois l'équilibre atteint, il ne semble plus y avoir de modification notable tout au long du vol quelle que soit sa durée, et les effets délétères ne sont pas évidents durant le vol.

Après quelques jours, le volume de l'excrétion urinaire se normalise. La qualité de cette excrétion est sujette à publications controversées, les missions Skylab ayant montré des excrétions sodées variables. Les valeurs obtenues sur MIR étaient plutôt à la baisse, mais la station est chaude (30°C) et avec une pression partielle en CO₂ élevée. Or ces deux derniers facteurs provoquent une sudation importante avec des pertes sodées non quantifiées, mais loin d'être négligeables. Le facteur natriurétique a été dosé dans la mission Spacelab SL1 et montre une chute de 48 à 59% [7]. Ces données corroborent les résultats obtenus par les expériences de décubitus prolongés (bed-rest).

En revanche, les résultats entre les bed-rest et les vols spatiaux ne concordent pas sur les hormones régulant la pression artérielle.

* La stimulation de l'appareil juxtaglomérulaire rénal étant abaissée (par la baisse de la pression artérielle à ce niveau), le

système rénine-angiotensine est plus actif et par conséquent l'aldostérone également, d'où une fuite potassique.

* La stimulation positive des récepteurs atriaux entraîne une baisse de l'ADH (Anti Diuretic Hormone) avec excrétion d'eau, de sodium et de potassium, diminution de la soif et stimulation négative du système rénine-angiotensine (à l'inverse !).

Ces deux mécanismes sont donc opposés et en fait très intriqués, expliquant les observations parfois contradictoires. Globalement, le plus souvent, les fuites de potassium sont augmentées, la sensation de soif est abaissée, l'adrénaline et la noradrénaline sont abaissées, le volume plasmatique est abaissé [8].

L'équilibre est atteint en 4 à 6 semaines. L'adaptation en vol ne gêne pas les performances cardiovasculaires liées à l'exercice ou au travail. Cependant, des mesures échocardiographiques effectuées sur des missions de plus de cinq mois montrent que le débit cardiaque d'effort diminue de 15% et que le volume d'éjection peut diminuer de près de 30% [9].

3.2.3. Atrophie musculaire

L'atrophie musculaire fera l'objet d'un travail à part. Notons toutefois que certains muscles ont un effet vasculaire « antigraité » notamment sur les membres inférieurs. Leur atrophie aggraverait les conséquences au retour en ne générant pas la force utile pour chasser le sang veineux vers le haut.

3.2.4. Conséquences et désadaptation cardiovasculaire

Au total, on peut noter deux faits :

* Une cascade hormonale consécutive au déplacement liquidien conduisant à une fuite hydro-électrolytique menant à un nouvel équilibre avec près de 20% de perte pour le plasma sanguin.

* Des réflexes de lutte contre l'orthostatisme émoussés par l'absence de stimulation en apesanteur.

Le cumul de ces deux éléments met sérieusement à mal le spationaute à son retour. La répartition sanguine retrouve une distribution verticale. La colonne sanguine reprend sa place dans les veines des jambes, en dépit du déficit volumique. Il s'ensuit une brutale chute de la pression sanguine avec hypotension artérielle (pression artérielle abaissée, différentielle pincée, vertige, malaise, syncope). Les mécanismes supposés lutter contre cette hypotension ont par ailleurs perdu leur efficacité ; le spationaute peut facilement mettre jusqu'à trois semaines pour récupérer. Cette désadaptation a pu être observée par le LBNP (Lower Body Negative Pressure) en cours de mission en vol. La fréquence cardiaque est constamment augmentée au retour sur terre.

Christophe Kueny

ERGONOMIE ET PSYCHOLOGIE SUR MARS

Les Mars Society canadienne et australienne ont organisé au début de l'année 2003 une mission d'un mois dans la Mars Desert Research Station de l'Utah : l'Expedition One. Il s'agissait d'utiliser la station et son contexte analogue à la surface martienne pour mener un programme intense d'activités en scaphandre (EVA), concentré sur la recherche de terrain en géologie et en biologie. C'est ainsi qu'une équipe de quatorze géologues, biologistes, ingénieurs, cameramen et observateurs s'est retrouvée sur place au début du mois de février, après une préparation d'un an et un travail concerté avec plusieurs universités (University of Toronto, University of Michigan et Australian National University).

L'expédition était planifiée sur quatre phases d'une semaine, dont chacune devait explorer un aspect des activités en EVA. Tout au long de l'expédition, une attention toute particulière fut portée sur que l'on appelle les « facteurs humains » : les équipages et leurs activités.

La première semaine a permis aux participants de se familiariser avec les différents outils, véhicules, combinaisons, protocoles de recherche, tandis que les équipements étaient testés et améliorés *in situ*. Parmi ces équipements, il faut citer la Mars-Skin, une combinaison alternative utilisant une pression mécanique plutôt que gazeuse pour assurer l'étanchéité ; et son complément le Datalogger, un ordinateur portable qui enregistre et coordonne les données du porteur pendant les EVA : relevés GPS, photos, commentaires audio. Deux rovers, Everest et Ares, permettaient également de simuler des EVA plus lointaines et bien plus longues, grâce à l'aménagement de couchettes.



le rover Everest se prépare pour une EVA de 24 heures

La deuxième semaine fut consacrée aux activités scientifiques proprement dites : recherche de sites, échantillonnage et travail en laboratoire à partir des données recueillies.

Les phases trois et quatre ont quant à elles tenté de respecter le plus possible les exigences de simulation en demandant aux participants de ne pas sortir du hab sans enfileur de scaphandre, et de se soumettre en général à des procédures strictes.

Grâce au soutien de l'association, j'ai eu la chance de participer aux deux premières phases, en tant que responsable des facteurs humains. C'était un rôle très intéressant, à l'interface entre les scientifiques de terrain (biologistes et géologues) et les ingénieurs. Je devais surveiller et optimiser les conditions de travail, de vie et de sécurité, dans un endroit prévu pour six

personnes mais occupé par quatorze ! Autant dire que nous avons tous dû retrousser nos manches et faire attention les uns aux autres.

Je devais aussi observer les activités en EVA, à l'aide d'un protocole élaboré par un ergonome canadien. Des questionnaires étaient régulièrement remplis par l'équipe, et la charge de travail de chacun était évaluée à l'aide de mesures du rythme cardiaque et de tests cognitifs. Grâce aux données recueillies, il sera possible de mieux appréhender les demandes physiques et mentales des sorties en scaphandre, selon le type de combinaison et d'activité.



des conditions extrêmes : tempête de neige dans l'Utah !

L'isolement et le confinement sont les deux axes majeurs de recherche en psychologie appliquée à l'espace. Nous avons vécu ces deux aspects de l'intérieur, en ne communiquant avec le reste du monde que par e-mail, et en vivant tous ensemble dans le hab. Nous n'étions pas toujours en confinement strict, mais le climat s'en est chargé à plusieurs reprises : vents violents, tempêtes de sable, chutes de neige et de pluie.

Bien que l'échelle de temps ne soit pas la même que celle de séjours longs en hibernation ou en orbite, nous avons aussi connu les aspects psychologiques typiques des séjours en isolement : adaptation individuelle au groupe, organisation autour d'un leader, marqueurs psychologiques et sociaux de l'écoulement du temps (fête du milieu de séjour, rotation des équipes), surmenage, nervosité, etc. Malgré toutes les difficultés rencontrées par un groupe de cette taille et le rythme de travail très soutenu, nous avons su conserver une grande cohésion. L'humour et le temps consacré à la réflexion en groupe ont beaucoup aidé.

Si une mission réelle devait faire face à un isolement et un confinement extrêmes – plusieurs dizaines de mois dans des espaces clos et sans renouvellement de l'équipage – il ne faudrait surtout pas négliger le temps nécessaire au repos personnel, à la discussion de groupe, et à la préparation intelligente des activités, de manière adaptative.

Participer à l'Expedition One fut une expérience très enrichissante et intéressante. Un grand merci à toute l'association !

Amaury Solignac

Les comptes rendus quotidiens ainsi qu'un rapport de mission sont disponibles sur : www.planete-mars.com