

ESPACE INFORMATION

Bulletin périodique d'information et d'éducation spatiales

Octobre 1983 - N° 26

(Deuxième édition, mai 1986)

Éditorial

Pour ceux qui furent enfants dans les années cinquante, c'est en dévorant les aventures de Tintin, en route vers la Lune, que se faisait la découverte de l'impesanteur : le professeur Tournesol et les deux Dupondt semblant nager au milieu de leur fusée, le whisky du capitaine Haddock métamorphosé en boules de billard... Quelle étrangeté ! On n'y comprenait rien et l'espace nous apparaissait alors comme un milieu bizarre, presque ensorcelé, jouant de vilains tours aux courageux pionniers...

Aux enfants nés une vingtaine d'années plus tard, la recherche spatiale est devenue bien familière. Pourtant les manifestations de l'impesanteur les étonnent toujours autant, même si Tintin a cédé la place à Jean-Loup Chrétien et si le reportage télévisé en direct s'est substitué à la bande dessinée ! Et leurs questions sont restées les mêmes, entre autres celle-ci : l'impesanteur, qu'est-ce que c'est au juste ?

Dans ce numéro

Les dossiers

- Le phénomène d'impesanteur 1

Actualité astronautique

- Eumetsat, Exosat, Pioneer-10, etc. 21
- Les radio-amateurs et l'espace 24

Informations diverses

- Pêle-mêle 29

Calendrier de l'espace

- Du 31 octobre 1982 au 25 février 1983 ... 31

Celui qui sera, peut-être, le deuxième Français à aller dans l'espace, Patrick Baudry, s'initie à l'impesanteur à l'intérieur d'un avion en vol balistique. A sa gauche, le Soviétique Klizim. Les deux hommes étaient cosmonautes remplaçants pour la première mission spatiale habitée franco-soviétique de juin 1982. (Photo collection particulière)

Les dossiers

Le phénomène d'impesanteur

La vie à l'intérieur d'un laboratoire spatial, en orbite autour de la Terre, est une source d'étonnements. Pour qui la découvre, ne serait-ce qu'à l'occasion de la projection d'un documentaire télévisé, il est évident que « là-haut » les choses sont bien différentes : pour se déplacer les hommes de l'espace utilisent... leurs bras et progressent le plus souvent à la manière des plongeurs sous-marins; quant aux objets qui les entourent, du moins ceux qui ne sont pas fixés à un support, ils « flottent dans l'air ». Ce sont là les manifestations les plus visibles et sûrement les plus connues que l'on associe à l'état d'impesanteur.

D EPUIS Newton, il est admis que les corps matériels exercent les uns sur les autres une attraction qui est dite gravitationnelle (voir EI, n° 25, p. 14).

La planète Terre, comme tous les corps célestes, attire tout corps matériel de son voisinage. A la surface du sol, cette attraction se traduit par l'existence d'une force tirant inéluctablement tout objet « vers le bas » : c'est ce qu'on appelle usuellement son poids.

Peut-on supprimer cette force ? Non, car l'attraction terrestre est un phénomène naturel sur lequel on ne peut agir. La sensation que nous avons de cette

force peut-elle disparaître ? Oui. Et comment ? Simplement en ne résistant pas à cette force, en se soumettant complètement à son action...

Car tout le paradoxe attaché à la notion de poids tient en cette idée : nous ressentons les effets du poids parce que certains obstacles exercent sur nous des forces qui s'opposent à la gravitation. (Le plus souvent, l'obstacle c'est le sol, mais ce peut être également le siège d'un véhicule terrestre ou le plancher d'une nacelle de montgolfière.) Cédons-y, laissons un objet quelconque subir — sans résistance aucune — l'attraction gravitationnelle : toute apparence de poids disparaît aussitôt !



073409232

De l'impesanteur considérée comme une conséquence naturelle de la gravitation universelle

Pour bien saisir tous les aspects de cette question, interrogeons-nous sur ce qui, sur Terre, donne à un homme la sensation de son poids. La réponse est simple : c'est le support sur lequel la repose, sur lequel il prend appui...

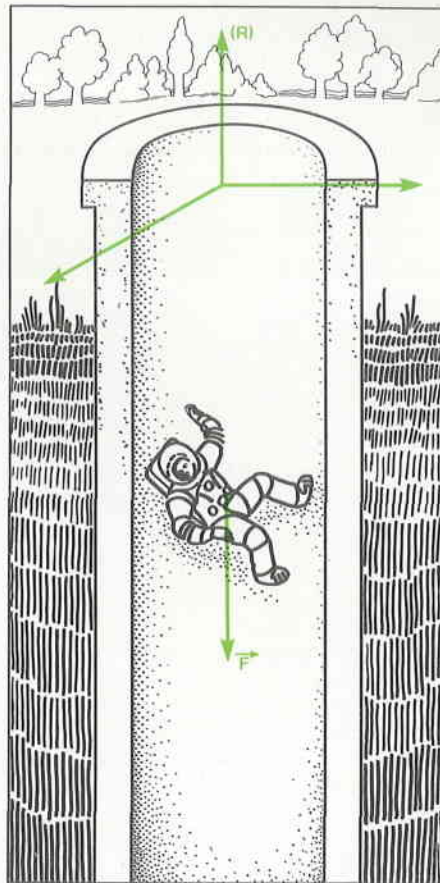
La Terre attire les différentes parties du corps mais ce sont les pieds qui sont en contact avec le sol et qui supportent l'ensemble du corps. Pour l'individu, la sensation de poids qui en résulte prend en compte de multiples informations et sensations (réponses du système nerveux et des centres d'équilibration, lourdeur des membres — par exemple, les bras « tirent » les épaules vers le bas —, « enfoncement » de la tête dans la partie supérieure du corps, etc.) qu'on associe à un sentiment d'équilibre et de bonne stabilité sur le sol.

Dans la vie courante nous évoluons, le plus souvent, sur un sol consistant et nous oublions l'attraction terrestre à laquelle nous sommes habitués, en présence de laquelle nous nous sommes développés. Mais que le sol soit moins ferme et cette attraction devient manifeste, perceptible : il est bien connu qu'on s'enfonce dans un marécage ! Pour en donner un autre exemple, soumettons un individu à une expérience banale en le plaçant sur une balance (du type pèse-personne). De quoi se compose cet instrument ? D'une partie fixe, en contact avec le sol, et d'une partie supérieure, mobile, où reposent les pieds du patient. Sous l'effet du poids du corps, la partie mobile s'enfonce plus ou moins (un système de ressort permettant d'atteindre une position d'équilibre) ce qui fournit une indication sur le poids (mais le cadran de la balance est gradué en masse).

Revenons à l'hypothèse du sol mou et poussons plus loin le raisonnement : qu'advierait-il de notre individu si, brutalement, le sol était supprimé ? La réponse est évidente : il tomberait ! Imaginons que cette chute se produise dans un puits. Rapidement, du fait de la résistance de l'air, sa vitesse de chute atteindrait une valeur limite, constante.

Éliminons donc l'air de ce puits. Le vide étant fait, notre cobaye (qu'on a revêtu d'une combinaison spatiale et d'un équipement de survie) est en chute libre ; ce qui signifie qu'aucune force (autre que la gravité, responsable de son mouvement), qu'aucun phénomène ne vient contrarier son mouvement.

Pour autant que les variations de g demeurent négligeables et si l'on fait



l'hypothèse que le repère terrestre auquel on rapporte le mouvement est galiléen, son mouvement est rectiligne [1] et uniformément accéléré.

Soumis à la seule attraction terrestre, il tombe avec une accélération (g) égale à celle de la pesanteur (valeur moyenne au niveau du sol : $g_0 \approx 9,8 \text{ m.s}^{-2}$). Sa vitesse ($v = v_0 + gt$) croît proportionnellement au temps et il parcourt une distance dont la valeur ($e = gt^2/2$) est donnée par la relation établie par Galilée (voir EI, n° 25, p. 3).

[1] Pour être exact, il faut indiquer que son mouvement (dans le repère terrestre) n'est pas rigoureusement rectiligne en raison de la rotation de la Terre autour de l'axe des pôles qui provoque — sauf aux pôles — une très petite déviation vers l'est. Cet écart par rapport à la verticale — toujours infime — ne peut être mis en évidence qu'au moyen d'expériences spéciales. Par exemple, lors des expériences de Reich faites en 1831, à Friedberg (51° de latitude Nord), en Allemagne, et portant sur une chute effectuée dans un puits de mine de 158 m de profondeur, on a mesuré une déviation de... 28 mm vers l'est (voir *Mécanique*, Dunod Université, 1976, p. 147).

C'est là une manifestation de la force d'inertie complémentaire (dite de Coriolis) qui doit, en toute rigueur, être prise en compte lorsqu'on étudie un corps en mouvement dans un repère lui-même animé d'une rotation instantanée par rapport à un repère galiléen.

Peut-on connaître l'état d'impesanteur ailleurs qu'à bord d'un satellite artificiel ? Oui, par exemple en effectuant une chute libre dans un puits débarrassé de son atmosphère. Est-il utile d'ajouter que c'est là une expérience infiniment plus dangereuse que la première ? (Doc. El-Boltana/Reilles)

Qu'en est-il de la sensation de poids ? Elle a disparu. La pesanteur semblant ne plus se manifester, on parle d'un état d'impesanteur (en anglais : *weightlessness* ou *zero-g conditions*; en allemand : *die Schwerelosigkeit*). Pour des raisons essentiellement phonétiques, on préfère ce terme d'impesanteur à celui d'apesanteur. (Comment, dans la conversation, distinguer « la pesanteur » de « l'apesanteur » ?)

Au risque d'anticiper un peu, il nous semble très important d'insister dès à présent : le terme *impesanteur* doit exclusivement laisser entendre que les effets de la pesanteur ne se manifestent plus, donc que la pesanteur est nulle ou très faible, ce qui n'implique nullement la disparition réelle de la gravité ! Certes, les phénomènes qu'on lui attribue habituellement au sol ne s'observent pas dans le cas d'une chute libre mais elle existe toujours bel et bien... puisque c'est elle qui est à l'origine de ce mouvement que constaterait un observateur terrestre !

Cette distinction — fondamentale — devra être présente à l'esprit quand on rencontrera les expressions : « absence de gravité », « microgravité », « gravité réduite ou nulle », etc.

Terminons par quelques rappels (voir EI, n° 25, p. 14) qui aideront peut-être le lecteur à y voir plus clair.

● Soit un corps céleste solide. Depuis Newton, on sait qu'il exerce une certaine attraction sur tout objet de son voisinage (et réciproquement) : c'est le phénomène de gravitation. On appelle gravité la force de gravitation exercée par ce corps céleste sur un corps quelconque.

● Supposons que ce corps céleste soit une planète en rotation sur elle-même et considérons, à présent, un habitant de cette planète désireux de déterminer, depuis le sol de sa planète, la valeur de cette gravité. Quoi qu'il fasse, il ne pourra obtenir qu'une mesure prenant en compte, simultanément, la gravité et des forces d'inertie (notamment celle due à la rotation signalée).

Ce phénomène physique global qu'il aura la possibilité d'étudier s'appelle la pesanteur. On a coutume de désigner par poids la force associée au phénomène de pesanteur.

● Les physiciens donnent de la pesanteur d'un astre la définition suivante : définie dans un repère non galiléen, c'est la somme de la force de gravitation (ou gravité) et des forces d'inertie agissant dans ce repère (essentiellement celle qui est due à l'accélération d'entraînement du repère considéré par rapport à un repère galiléen).

Au sol, c'est la pesanteur qui confère aux objets leur poids.

● A titre d'aide-mémoire, on peut proposer les associations de concepts suivantes : d'une part, gravitation/gravité/absence de forces d'inertie/repère galiléen; d'autre part, pesanteur/poids/existence de forces d'inertie/repère non galiléen, associations qui prendront tout leur sens à la lecture des pages de cette revue.

Aussi peut-on dire que la sensation de poids existe dès qu'il y a obstacle au mouvement de chute libre. Supprimons l'obstacle et toute sensation de poids disparaît... Si notre malheureux cobaye, dans sa chute vertigineuse vers le fond du puits, avait le loisir d'utiliser son pèse-personne, il observerait que la partie mobile de la balance ne s'enfonçait pas et que l'aiguille reste au zéro : il ne pèse rien ! Et s'il se débarrassait de son bracelet-montre ou de son mouchoir, il constaterait qu'ils « descendent » comme lui, ni plus vite, ni moins vite...

Soumis à la seule attraction terrestre, tous les corps tombent avec la même accélération dans le vide (donc avec la même vitesse si les conditions initiales étaient identiques) ainsi que l'a reconnu Galilée au début du XVII^e siècle. Il en résulte que dans un système de référence en chute libre, les effets de la pesanteur disparaissent : les observateurs et les objets solidaires de ce système de référence se trouvent en état d'impesanteur. La réciproque est vraie : s'il y a impesanteur dans un système de référence, celui-ci est en chute libre. Étayé par des expériences très précises, ce fait constitue l'un des fondements de la relativité générale d'Einstein (voir EI, n° 25, pp. 20-21).

Cette équivalence entre chute libre et impesanteur se comprend en mécanique newtonienne par l'introduction des forces d'inertie [2] dans tout système de référence qui n'est pas galiléen [3].

L'approche mathématique n'est pas trop complexe dans le cas d'un repère en mouvement de translation uniformément accélérée ou en mouvement de rotation uniforme par rapport à la Terre.

Afin d'illustrer ce qui vient d'être écrit, reprenons l'exemple de notre cobaye que nous supposons, cette fois, à l'intérieur d'une cabine d'ascenseur, à l'atmosphère respirable, sans aucun contact (visuel ou autre) avec l'extérieur. Et cette cabine est en chute libre dans le puits où a été fait le vide. Étudiée sur une distance telle que l'accélération de la pesanteur terrestre puisse être considérée comme constante, la cabine a — par rapport à la Terre — un mouvement accéléré : c'est un référentiel non galiléen.

Quelles forces s'exercent sur notre passager, la cabine étant prise comme référentiel ? D'une part, la force F de gravitation, dirigée vers le bas et cause du mouvement, d'autre part (et parce que la cabine n'est pas un référentiel galiléen), une force d'inertie, égale et de sens opposé. (Insistons bien sur le fait que cette force d'inertie n'a de signification que dans le référentiel défini, autrement dit pour le passager. Pour un observateur au sol, raisonnant dans un repère galiléen, cette force d'inertie n'existe pas !)

Notre cobaye est donc soumis à deux forces dont la somme est nulle. (On verra plus loin que ce n'est vrai qu'en première approximation.) Par rapport aux parois de la cabine d'ascenseur, rien ne se déplace sans impulsion initiale (d'où l'emploi du terme « flotter » pour décrire cette stabilité des choses à l'intérieur de la cabine, leur maintien dans l'air) et, aux yeux du passager, la gravité semble ne plus s'exercer : rien ne pèse et rien ne tombe [4] vers le plancher de la cabine. Ainsi peut-on expliquer le phénomène d'impesanteur [5].

Insistons cependant sur le côté paradoxal de cette conclusion : dans un champ de gravitation, un mobile peut être soumis à un mouvement de chute libre ce qui donne à ses passagers l'illusion que... le champ de gravitation n'existe pas !...

Donnons deux exemples simples dans lesquels se manifestent des forces d'inertie :

— un train progresse en ligne droite à vitesse constante par rapport à un repère terrestre considéré comme galiléen : c'est donc aussi un repère galiléen. Soudain il aborde un virage tout en maintenant constante sa vitesse : ce n'est plus un repère galiléen (car le mouvement n'est plus rectiligne par rapport au repère terrestre de référence) et des forces d'inertie se manifestent (les voyageurs sont déportés vers l'extérieur du virage) ;

— le même train, revenu à l'état initial, change brutalement de vitesse tout en poursuivant son mouvement rectiligne : ce n'est plus un repère galiléen (car le mouvement n'est plus uniforme par rapport au repère terrestre de référence) et des forces d'inertie se manifestent (les voyageurs sont projetés vers l'avant du train, s'il y a eu ralentissement, ou vers l'arrière du train, s'il y a eu accélération).

(*) Il ne s'agit encore que d'une approximation car le système solaire ne peut être considéré comme absolument isolé des autres corps de l'univers.

[4] A condition, bien sûr, qu'aucun objet n'ait reçu d'impulsion initiale.

[5] Pour une interprétation mathématique plus approfondie, nous renvoyons le lecteur aux ouvrages scolaires de son choix ou, par exemple, à deux articles du Bulletin de l'Union des physiciens dont on trouvera en p. 7 les coordonnées complètes : A propos de l'impesanteur (n° 593) et Pour essayer de résoudre un problème de mécanique (n° 611).

[6] Cité par M.R. Sharpe dans La vie dans l'espace, Larousse, 1970, p. 93.

De la même façon, on rendra compte de l'état d'impesanteur qu'il est possible d'instaurer en soumettant divers véhicules à une chute libre (qu'il s'agisse d'expériences en tour d'impesanteur, à bord d'avions ou de fusées-sondes en vol balistique ou encore à l'intérieur des satellites artificiels ; ce sera l'objet du numéro 29 d'Espace Information).

On peut même envisager — c'est une hypothèse toute théorique mais utile à la compréhension du phénomène — un « moyen artificiel » de parvenir à cette chute libre dans le cas d'une résistance extérieure. Imaginons un projectile sous-marin largué verticalement dans un océan. Sous l'effet de son poids, il descend mais, ralenti par l'eau, il n'est pas en chute libre. Dotons-le d'un système propulsif très puissant lui permettant de vaincre cette résistance et de descendre avec une accélération égale à celle de l'attraction terrestre à ce niveau (soit $\approx 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ en surface) : son mouvement sera alors assimilable à une chute libre et l'état d'impesanteur existera à l'intérieur du projectile.

C'est en usant d'un artifice du même ordre que dès 1935 l'Allemand von Diringshofen aurait connu, durant huit secondes, l'état d'impesanteur en mettant son avion en piqué depuis une grande altitude et en annulant la traînée atmosphérique avec son moteur [6].

Jusqu'ici on a entendu par chute libre un mouvement se faisant exclusivement sous l'influence de l'attraction terrestre avec une accélération égale à celle de la pesanteur (au niveau considéré). Mais la généralisation est possible, aussi doit-on considérer comme étant en chute libre tout corps qui n'est soumis qu'à l'action du champ gravitationnel sous l'influence duquel il se trouve.

Autrement dit, est en chute libre tout objet « tombant » (au sens de Newton, voir EI, n° 25, p. 11) vers le corps céleste qui l'attire. Dans tout champ de gravitation (dû au Soleil, à la Lune, aux planètes, aux étoiles,...) la chute libre constitue le mouvement naturel et l'impesanteur la règle.

(Pour ne pas se trouver dérouter par la suite de l'article, nous demanderons au lecteur d'oublier provisoirement le sens généralement attaché à l'expression « chute libre », à savoir : mouvement vertical prenant fin avec un impact au sol.

Pour notre part, nous entendons par « chute libre » un mouvement régi par la gravité et sur des trajectoires variées (cercle, ellipse, parabole, ligne droite,...),

(suite en page 6)

[2] Le concept de force d'inertie aurait été introduit en mécanique par Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783), écrivain, philosophe et mathématicien français, surtout connu comme un des animateurs de l'Encyclopédie.

Les forces d'inertie sont parfois appelées « pseudo-forces » car elles peuvent être modifiées, voire éliminées, par un changement de système de référence, ce qui n'est pas le cas des « vraies » forces. (Malheureusement, ces appellations ont souvent été à l'origine d'erreurs de raisonnement et ont, selon l'expression d'un enseignant qui souhaitait « en finir [avec elles] une bonne fois pour toutes », « fait suffisamment de dégâts jusqu'à ce jour ! »)

En particulier, dans un système galiléen, il n'y a pas de forces d'inertie. C'est pourquoi on dit aussi qu'un système galiléen est un système d'inertie.

[3] Un repère galiléen est un système de référence dans lequel la loi d'inertie (voir EI, n° 25, p. 7) est vérifiée : un mobile qui ne serait soumis à aucune force serait, par rapport à ce repère, soit au repos, soit en mouvement de translation uniforme.

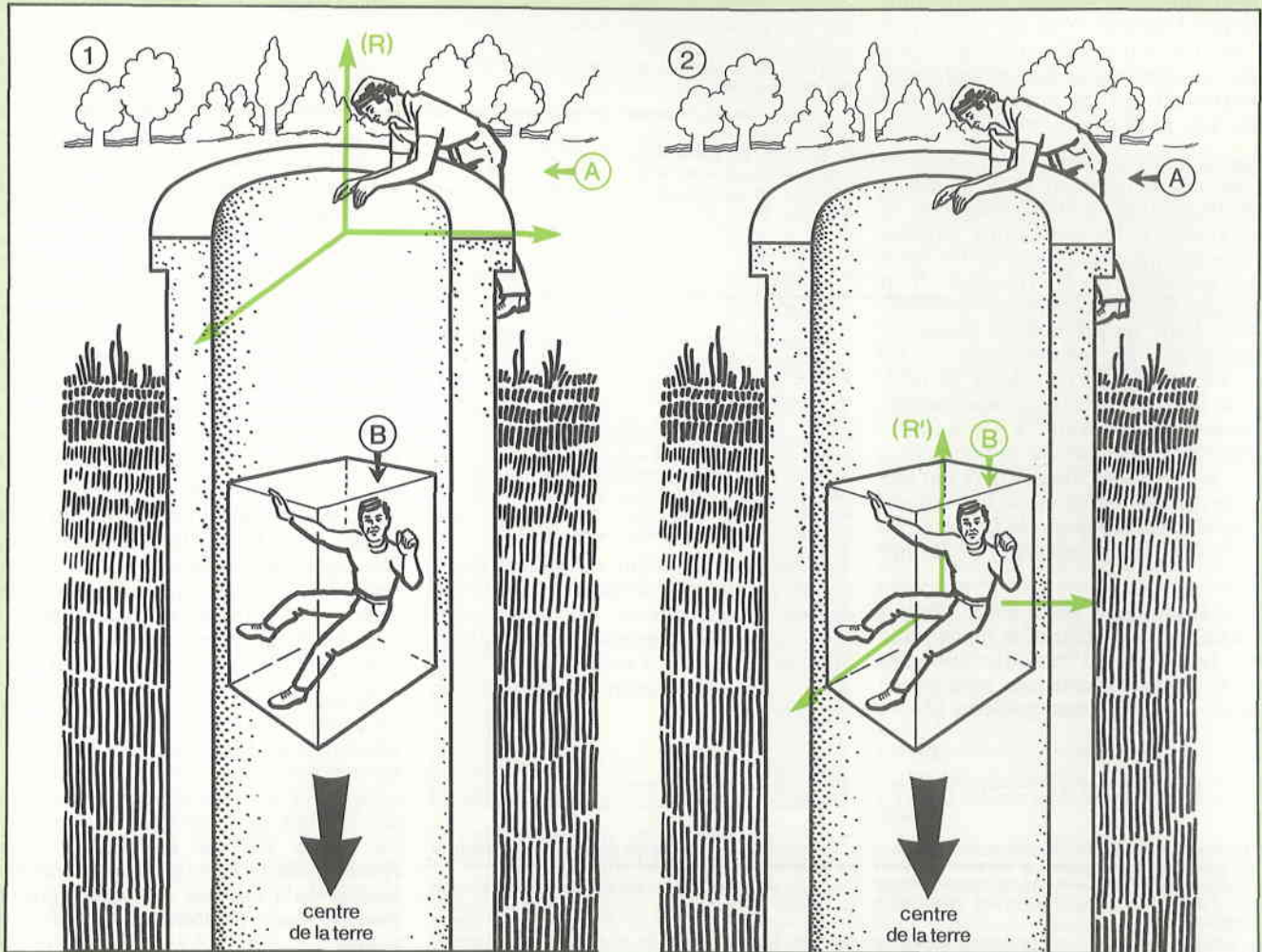
De surcroît, tout mobile de ce type peut constituer à son tour un référentiel galiléen : les référentiels galiléens sont en mouvement de translation rectiligne et uniforme les uns par rapport aux autres.

En toute rigueur, du fait, d'une part, de la rotation de la Terre autour de l'axe des pôles et, d'autre part, du mouvement du centre de la Terre dans le repère de Copernic (voir p. 7) qui lui est pratiquement galiléen (*), un repère terrestre ne devrait pas être considéré comme galiléen.

Toutefois, en première approximation, on peut considérer qu'un repère terrestre est galiléen : cette approximation est suffisante pour l'étude de la majorité des problèmes de mécanique sur la Terre... mais ne l'est plus pour l'analyse du mouvement des satellites artificiels terrestres.

Chute libre ou impesanteur ?

C'est une question de point de vue...



● Point de vue de A (fig. 1)

Je suis A, observateur posté à l'ouverture du puits dans lequel « tombe » la cabine où a pris place mon ami B. (Pour supprimer la résistance de l'air, on a fait le vide dans le puits.)

Je suis immobile dans le repère (R) qui est solidaire de l'écorce terrestre. Je constate que la cabine, soumise à l'attraction de la Terre [*], est en mouvement pratiquement rectiligne et uniformément accéléré : j'en conclus qu'elle est en chute libre... Il en est de même de mon ami B.

Je suis formel; pour moi, il n'y a pas d'autre explication possible : B est en chute libre.

(*) Pour plus de clarté, on néglige les forces d'inertie d'entraînement et de Coriolis qu'il conviendrait de prendre en compte puisque (R) n'est pas galiléen.

● Point de vue de B (fig. 2)

Je suis B, observateur enfermé dans la cabine qui « tombe » à l'intérieur du puits. Mon cadre de référence ?

Eh bien, je n'ai guère le choix... Il est matérialisé par les parois de cette cabine, c'est le repère (R'). Les physiciens disent que ce repère n'est pas galiléen.

Grâce à son talkie-walkie, mon ami A me dit qu'il voit ma cabine descendre de plus en plus vite vers le fond du puits. Il me demande ce que j'éprouve...

Sans vouloir mettre en doute sa parole, je dois bien avouer que j'ai du mal à le croire car moi je n'ai l'impression d'aucun mouvement ! Bien sûr, je dois préciser qu'il n'y a aucune ouverture me permettant de voir à l'extérieur de ma cabine.

Cependant, ici, *tout n'est pas comme d'habitude !* J'ai perdu toute sensation de poids et c'est un peu comme si dans ma cabine la gravité n'existait plus. L'attraction terrestre, si banale à la surface du sol, semble ne plus s'exercer. C'est ainsi que je « flotte » dans ma cabine. Si je prends appui sur le plancher, je monte vers le plafond; si je prends appui sur le plafond, je descends vers le plancher. Mais dès que je parviens à me stabiliser, eh bien je demeure immobile par rapport aux parois de ma cabine...

Si je cherche à me débarrasser d'un objet que je tiens dans la main, il ne « tombe » pas vers le plancher... Tout cela est bien étonnant !

(suite en page 5)

(suite de la page 4)

Pour moi, il n'y a pas de doute : je suis en train de connaître ce que les physiciens appellent l'état d'impesanteur.

Qui, de A ou de B, se trompe ? A la vérité, ils ont tous les deux raison ! Pourquoi ? Tout simplement parce que chacun raisonne dans son propre cadre de référence, par rapport à son propre repère.

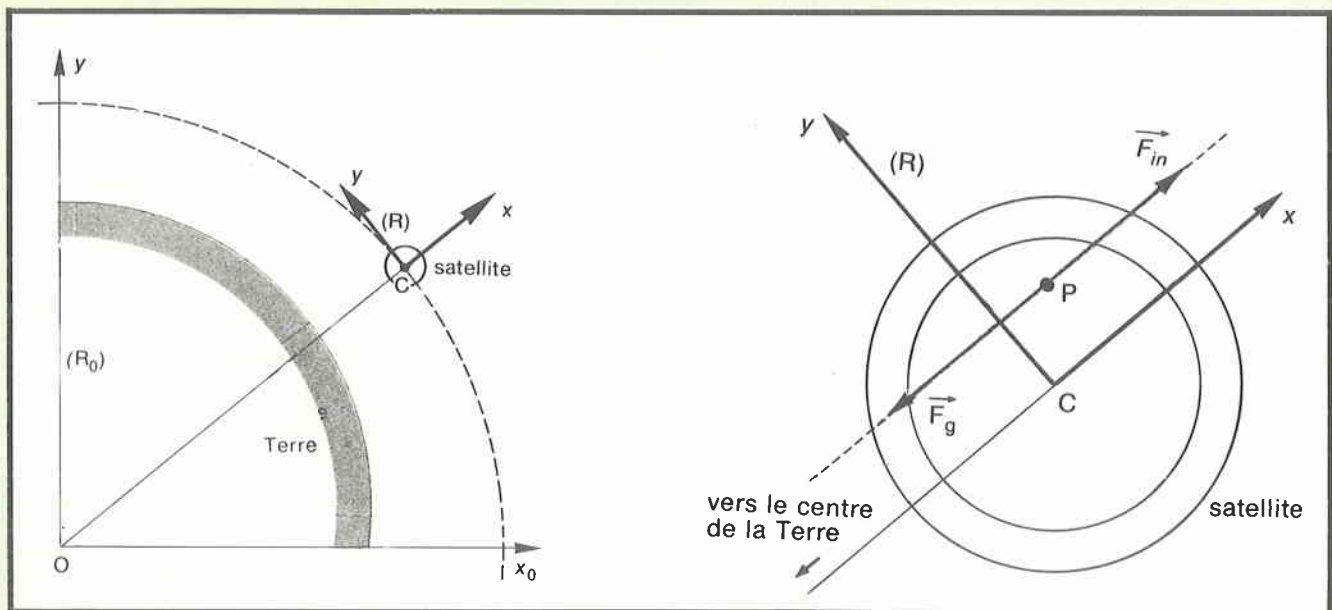
Et c'est l'une des ambiguïtés du phénomène d'impesanteur que d'être perçu de façon différente par celui qui est

dans le référentiel en mouvement et celui qui, situé dans un autre repère, peut constater le mouvement de ce référentiel.

Aucune des deux descriptions n'est plus « vraie » que l'autre : ce sont deux façons de rendre compte de la même réalité.

(Pour mémoire, rappelons le raisonnement similaire fait à propos du projectile lâché par un avion, voir EI, n° 25, p. 4.)

Comment rendre compte de l'impesanteur existant dans un satellite artificiel ?



Précisons d'abord les référentiels utilisés :

- le mouvement du satellite autour de la Terre (masse : M) est étudié dans le référentiel géocentrique (R_0) supposé galiléen;
- le mouvement d'un objet dans le satellite est repéré par rapport au satellite lui-même qui constitue un référentiel (R) non galiléen. Au cours de son déplacement sur son orbite, le satellite demeure immobile par rapport aux axes du repère (R).

★ Mouvement du satellite dans (R_0)

Faisons l'hypothèse que la trajectoire du satellite est circulaire. Dans le référentiel (R_0), la seule force extérieure s'exerçant sur le satellite est la force de gravitation.

★ Comportement d'un objet lâché dans le satellite

Soit un objet ponctuel, de masse m , lâché en P dans le satellite, sans impulsion initiale. Quelles forces subit-il ? On raisonne dans le référentiel (R). Deux forces s'exercent sur lui :

— la force de gravitation, due à la Terre :

$$\vec{F}_g = -\gamma \frac{Mm}{(OP)^2} \vec{OP}$$

— la force d'inertie d'entraînement :

$$\vec{F}_{in} = m\omega^2 \vec{OP}$$

Ces deux forces sont de sens contraire et on démontrerait que leurs modules sont très voisins ($\omega^2 = \frac{\gamma M}{(OC)^3}$).

La somme de ces forces, subie par P, est donc faible : en particulier, elle est nulle lorsque P coïncide avec C, le centre d'inertie du satellite.

En pratique l'objet de masse m n'est soumis qu'à une force négligeable et on peut considérer, en première approximation, que pour un observateur installé dans le satellite, se repérant par rapport au référentiel (R), la pesanteur est quasiment nulle.

Aux yeux d'un cosmonaute, un objet de petites dimensions, lâché à proximité du centre d'inertie de son véhicule spatial, demeurera pratiquement immobile par rapport aux parois, du moins pendant un intervalle de temps assez bref.

(Document extrait de *Fondements de la physique*, coll. A. Cros, Term. CE, 1980, p. 101, reproduit avec l'aimable autorisation des éditions Belin.)

(suite de la page 3)

parfois même dans des circonstances qui, à première vue, étonnent : pour nous, une fusée-sonde en vol devra être considérée comme en « chute libre » dès lors que la résistance de l'air pourra être négligée (c'est-à-dire à haute altitude), en particulier dans la partie ascendante de sa trajectoire... et pourtant, à ce moment-là, elle s'éloigne encore du sol.)

Mais il est possible de voir dans notre cabine d'ascenseur la forme la plus rudimentaire du véhicule spatial et d'élargir ainsi notre vision. Aussi peut-on affirmer que **tout véhicule spatial suivant une trajectoire soumise aux seules lois de la gravitation** (en absence de toute autre force extérieure, par exemple celle d'un système propulsif ou encore la traînée aérodynamique lors de la traversée d'une atmosphère) **est en chute libre.**

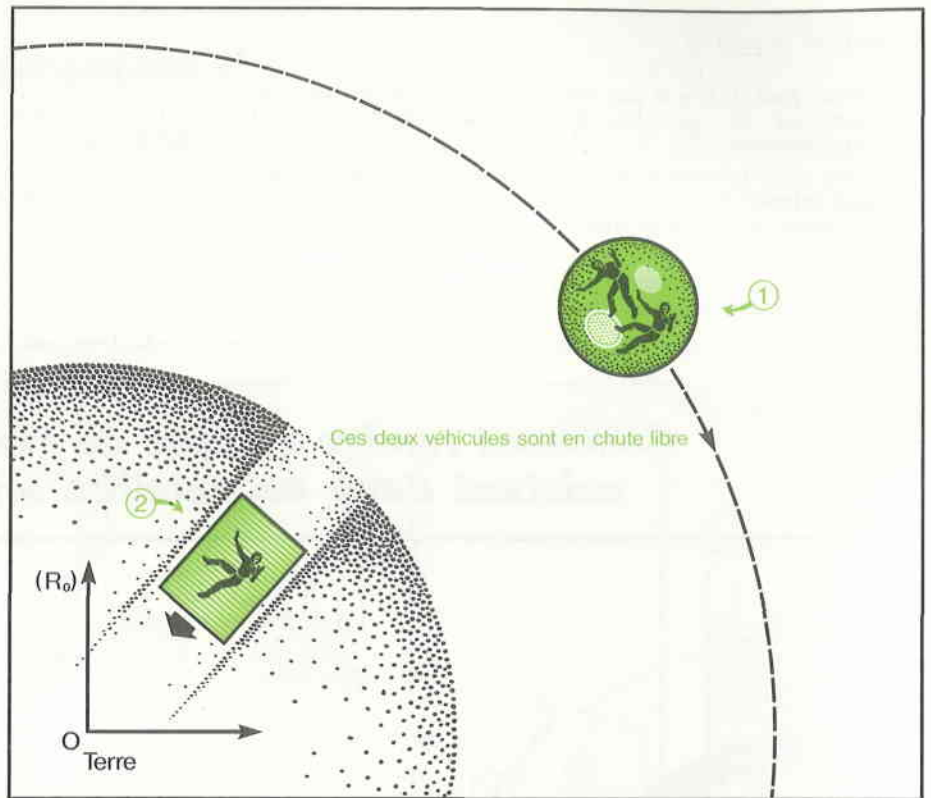
C'est, bien sûr, le cas des satellites artificiels tournant autour de la Terre, qu'il s'agisse d'orbites circulaires ou elliptiques. Mais c'est aussi celui des sondes spatiales qui s'arrachent à l'attraction terrestre selon des trajectoires paraboliques ou hyperboliques (considérées dans le repère géocentrique et au voisinage de la Terre afin de négliger toutes les influences autres que celle de la gravitation terrestre).

S'éloignant de la Terre **toute sonde spatiale**, qu'elle se dirige vers la Lune (cas des capsules Apollo), vers Mars ou Vénus, qu'elle se mette en orbite autour du Soleil (cas de quelques Pioneer, des satellites Hélios, OSO,...), qu'elle quitte le système solaire (cas des sondes Pioneer-10 et 11, Voyager-1 et 2) **est en chute libre** [7] (parce que soumise exclusivement aux lois de la gravitation universelle). Et à l'intérieur de **tout véhicule en chute libre règne l'état d'impesanteur.** (A l'extérieur aussi, d'ailleurs, comme l'ont illustré les multiples sorties de l'Homme dans l'espace à partir d'un véhicule spatial; voir encadré p. 12).

Mais cette chute libre peut prendre fin à tout instant, notamment lorsqu'une de ces sondes vient à se poser sur le sol d'une planète : elle ne « tombe » plus ce qui met un terme à l'état d'impesanteur (observé dans le repère lié à la sonde). De nouveau la sensation de poids se manifeste.

En l'absence de tout champ gravitationnel (condition hypothétique qui n'a de sens qu'au plan théorique puisqu'elle ne peut être remplie qu'à très grande distance de toute masse matérielle), serait considéré comme en chute libre (dans un repère galiléen; mais comment le définir en absence de toute matière ?) tout corps... au repos ou se

[7] Du moins tant que les moteurs servant à la stabilisation ou à la correction de trajectoire sont arrêtés.



Que veut-on montrer avec ce schéma ? Qu'un ascenseur qui tombe dans un puits où règne le vide et un satellite qui gravite autour de la Terre ont en commun d'être en chute libre.

Les deux mouvements étant rapportés au référentiel géocentrique (R_0), supposé galiléen, on peut dire que :

- le satellite (1) décrit une trajectoire qu'on a supposé circulaire et n'est soumis qu'à la force de gravitation terrestre (on néglige les autres forces, bien plus faibles, s'exerçant sur lui);

- la cabine d'ascenseur (2) décrit une trajectoire dirigée vers le centre de la Terre. Si l'on a pris la précaution de creuser ce puits selon l'axe des pôles (pour annuler la force d'inertie d'entraînement) et si l'on néglige la force d'inertie de Coriolis, on peut admettre — en première approximation — que cette cabine est exclusivement soumise à la force de gravitation terrestre.

Les deux mobiles peuvent être considérés comme étant en chute libre, la seule différence tenant au fait que le satellite a reçu une impulsion initiale (selon une direction perpendiculaire au rayon terrestre en ce point).

Il faut bien avouer que la parenté des deux mouvements n'est pas évidente a priori. (Pour compléter la scène, et ajouter une troisième manière de générer un mouvement de chute libre, on aurait pu représenter également une fusée-sonde en vol balistique.)

Ces deux mobiles ont des vitesses et des trajectoires différentes, mais dans les deux cas leurs passagers sont en impesanteur.

Profitions de cette analogie pour rappeler — essentiellement à l'intention des jeunes lecteurs — que pas plus que notre ascenseur qui tombe dans son puits, pas plus qu'une pierre lancée en l'air et qui revient vers le sol, le satellite n'a besoin d'aucun moteur pour tourner autour de la Terre : leur seul « moteur », c'est la gravitation universelle, cause unique de leur mouvement. (Document EI — Boltana/Reilles)

déplaçant en ligne droite à vitesse constante (on retrouve le principe d'inertie de Newton, voir EI, n° 25, p. 7).

Une question un peu hâtive pourrait être : *la Terre étant en chute libre dans l'espace* (car elle « tombe » en permanence sur le Soleil, au sens où l'entendait Newton affirmant que la Lune « tombe » sur la Terre; voir EI, n° 25, p. 11; *tomber étant ici synonyme de graviter*), *pourquoi ses passagers ne ressentent-ils pas l'état d'impesanteur ?*

Tel serait le cas si la Terre avait une masse négligeable (par exemple si elle

était creuse). Mais la Terre est massive. Elle est même tellement massive qu'elle crée, dans son voisinage, un fort champ de gravité auquel les hommes sont sensibles : c'est d'ailleurs ce qui les « plaque » au sol et est à l'origine de leur poids.

Du fait de cette gravité, les hommes disposent de l'intéressante faculté de se déplacer sans difficulté sur toute la surface (solide !) du globe terrestre un peu comme des fourmis en mouvement sur un ballon d'enfant... Possibilité qui ne cesse d'étonner les enfants (« Mais comment ils font, en Australie, pour marcher la tête en bas ? » disent-ils.)

Les repères de la mécanique newtonienne

Le « temps » t est « absolu ». Il est le même dans tous les repères. L'horloge atomique permet de mesurer de façon satisfaisante ce paramètre t (il faut noter qu'en fait une horloge ne mesure pas le « temps » mais des durées :

$$\Delta t = t_2 - t_1).$$

1. Le repère de Copernic

Il a pour origine le centre d'inertie du système solaire et pour axes trois axes dirigés vers trois étoiles, ces trois axes formant un trièdre indéformable.

Il peut être considéré comme galiléen.

Tout repère en translation rectiligne et uniforme par rapport au repère de Copernic est galiléen.

2. Le repère de Képler

Il a pour origine le centre d'inertie du Soleil et pour axes des axes parallèles à ceux de Copernic.

Le centre d'inertie du Soleil reste toujours très voisin du centre d'inertie du système solaire (à l'échelle du système solaire).

Le repère de Képler peut être considéré comme galiléen avec une très bonne approximation.

3. Les repères faisant intervenir la Terre

Dans le repère de Képler, le centre d'inertie du système Terre-Lune décrit approximativement une ellipse.

Pour simplifier, on dit souvent que c'est le centre d'inertie de la Terre qui décrit lui-même une ellipse et que la Terre tourne autour de son axe SN par rapport aux étoiles.

Un repère lié à la Terre considérée comme un solide parfait, indéformable, n'est donc pas galiléen.

Néanmoins :

a) Un repère terrestre peut être considéré comme galiléen en première approximation.

A cette approximation, on néglige :

— la force d'inertie d'entraînement due au mouvement du centre de la Terre dans le repère de Képler [1];

— la force d'inertie de Coriolis due à la rotation de la Terre autour de son axe; la force d'inertie d'entraînement due à cette rotation est incluse dans le poids $m\vec{g}$.

Cette approximation est suffisante pour l'étude de la plupart des problèmes de mécanique terrestre.

Quelques exceptions

Étude des marées, de la déviation vers l'est dans la chute des corps, des satellites terrestres, des gyroscopes, du pendule de Foucault, des courants marins, des vents,...

b) Un repère ayant son origine au centre d'inertie de la Terre et pour axes des axes parallèles à ceux du repère de Képler (repère géocentrique céleste), peut être considéré comme galiléen en deuxième approximation.

Cette approximation est meilleure que celle du 3a.

A cette approximation, on néglige seulement la force d'inertie d'entraînement due au mouvement du centre de la Terre dans le repère de Képler [2].

Cette approximation est suffisante pour l'étude des exceptions mentionnées en 3a, sauf pour l'étude des marées [3].

Marcel Eveno

(Extrait du *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 611, février 1979, pp. 660-662)

[1] Note de la rédaction du BUP : qui est d'ailleurs pratiquement compensée par les forces de gravitation dues aux astres, Soleil, Lune,...

[2] Même remarque que précédemment.

[3] Note de la rédaction d'*Espace Information* : c'est dans ce repère qu'est généralement étudié le mouvement des satellites artificiels.

L'analogie entre la Terre, satellite naturel habité du Soleil, et une station orbitale artificielle habitée tournant autour de la Terre bute sur la différence fondamentale suivante : l'attraction gravitationnelle de la station sur ses occupants est totalement négligeable... ce qui n'est pas le cas de la Terre vis-à-vis de ses habitants.

L'imagination éprouve quelques difficultés en essayant de se représenter, à l'intérieur de notre Galaxie en mouvement dans l'espace et en rotation sur elle-même, notre Soleil autour duquel tourne la Terre, autour de laquelle tourne la Lune, autour de laquelle graviterait une station spatiale dans laquelle des cosmonautes seraient en état d'impesanteur ! Étrange ballet cosmique...

En résumé, dès qu'un véhicule spatial gravite (dans quelque endroit de l'univers que ce soit), on peut affirmer que ses équipements et ses passagers sont en état d'impesanteur.

A ce sujet, il convient de signaler l'erreur commise par Jules Verne dans son récit *Autour de la Lune*, publié en 1871,

A lire...

Il n'existe pas, à notre connaissance, d'ouvrage abordant le thème de l'impesanteur dans ses généralités. Cependant trois articles méritent d'être signalés :

● **A propos de l'impesanteur**, par J.-P. Sarmant, *Bulletin de l'Union des physiciens*, n° 593, avril 1977, pp. 951-961, 12 F (Union des physiciens, 44, boulevard St-Michel, 75270 Paris Cedex 06);

● **Les effets de marée**, par H. Gié, *Bulletin de l'Union des physiciens*, n° 652, mars 1983, pp. 703-713, 12 F (même adresse);

● **Pour essayer de résoudre un problème de mécanique**, par M. Eveno, *Bulletin de l'Union des physiciens*, n° 611, février 1979, pp. 635-666, 12 F (même adresse).

Par contre de nombreuses publications traitent des recherches en microgravité, mais nous les mentionnerons dans le numéro 29 d'*Espace Information* qui sera consacré à ce sujet.

en ne faisant apparaître l'état d'impesanteur qu'en une zone précise de la trajectoire Terre-Lune, là où les influences gravitationnelles de la Terre et de la Lune se compensent (ce qu'il appelle le « point d'égal attraction » et qu'on désigne aujourd'hui par « point d'équigravité du système Terre-Lune »). En réalité tout le voyage — à supposer qu'il ait pu prendre naissance — aurait dû se dérouler en état d'impesanteur. (Les missions Apollo vers la Lune en ont apporté la preuve.)

Voyons ce qu'écrit Jules Verne [8] dont les trois héros, rappelons-le, ont pris place à l'intérieur d'un projectile, *Columbiad*, qu'un canon a propulsé en direction de la Lune :

(...) *Barbicane et ses deux compagnons eurent le sentiment très marqué d'un nouveau phénomène.*

Depuis le moment où ils avaient quitté la Terre, leur propre poids, celui du boulet et des objets qu'il renfermait, avaient

[8] *Autour de la Lune*, J. Verne, Livre de poche, n° 2035, 1979, pp. 122-127.

Le phénomène d'impesanteur

subi une diminution progressive. S'ils ne pouvaient constater cette déperdition pour le projectile, un instant devait arriver où cet effet serait sensible pour eux-mêmes et pour les ustensiles ou les instruments dont ils se servaient. (...)

On sait que l'attraction, autrement dit la pesanteur, est proportionnelle aux masses et en raison inverse du carré des distances. De là cette conséquence : si la Terre eût été seule dans l'espace, si les autres corps célestes se fussent subitement annihilés, le projectile, d'après la loi de Newton, aurait d'autant moins pesé qu'il se serait éloigné de la Terre, mais sans jamais perdre entièrement son poids, car l'attraction terrestre se fût toujours fait sentir à n'importe quelle distance.

Mais dans le cas actuel, un moment devait arriver où le projectile ne serait plus aucunement soumis aux lois de la pesanteur, en faisant abstraction des autres corps célestes dont on pouvait considérer l'effet comme nul.

En effet, la trajectoire du projectile se traçait entre la Terre et la Lune. A mesure qu'il s'éloignait de la Terre, l'attraction terrestre diminuait en raison inverse du carré des distances, mais aussi l'attraction lunaire augmentait dans la même proportion. Il devait donc arriver un point où, ces deux attractions se neutralisant, le boulet ne pèserait plus. Si les masses de la Lune et de la Terre eussent été égales, ce point se fût rencontré à une égale distance des deux astres. Mais, en tenant compte de la différence des masses, il était facile de calculer que ce point serait situé aux quarante-sept cinquante-deuxièmes du voyage, soit, en chiffres, à soixante-dix-huit mille cent quatorze lieues [9] de la Terre. (...)

Or, comment reconnaîtraient-ils que le projectile avait atteint ce point neutre situé à soixante-dix-huit mille cent quatorze lieues de la Terre ?

Précisément lorsque ni eux ni les objets enfermés dans le projectile ne seraient plus aucunement soumis aux lois de la pesanteur.

Jusqu'ici, les voyageurs, tout en constatant que cette action diminuait de plus en plus, n'avaient pas encore reconnu son absence totale. Mais ce jour-là, vers onze heures du matin, Nicholl ayant laissé échapper un verre de sa main, le verre, au lieu de tomber, resta suspendu dans l'air.

« Ah ! s'écria Michel Ardan, voilà donc un peu de physique amusante ! »

Et aussitôt, divers objets, des armes, des bouteilles, abandonnés à eux-mêmes, se tinrent comme par miracle. Diane, elle

[9] La lieue, ancienne mesure de distance, valait approximativement 4 km.

Qu'est-ce que le poids ?

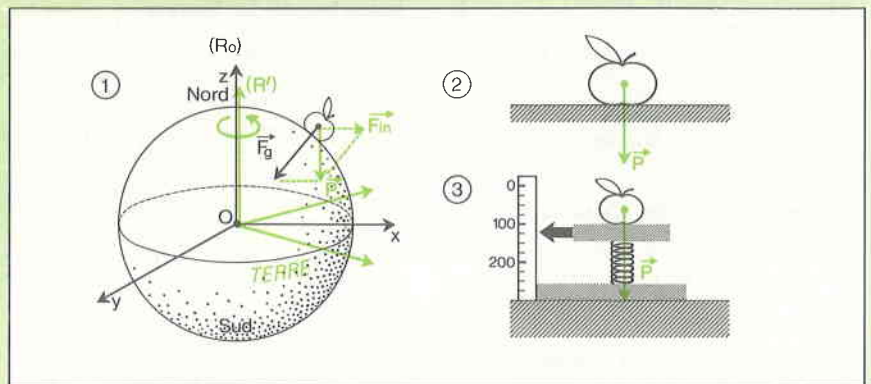


Schéma 1. Considérons une pomme reposant à la surface de la Terre. On peut l'étudier soit par rapport au repère géocentrique (Ro), que l'on peut considérer comme galiléen avec une approximation suffisante ici, soit par rapport au repère terrestre (R') lequel tourne autour de l'axe des pôles par rapport à (Ro); (R') n'est pas galiléen.

Supposons la pomme immobile par rapport à (R'). Dans le repère (R'), la pomme est soumise à la **force de gravitation** (F_g), essentiellement la gravité terrestre, et à la **force d'inertie d'entraînement** (F_{in}).

On démontre que : $F_{in} = m\omega^2 HM$ avec m : masse de l'objet, ω : vitesse angulaire de rotation de la Terre, HM : distance de l'objet à l'axe des pôles (voir El, n° 25, p. 14).

On appelle **poids de la pomme** la somme (\vec{P}) de ces deux forces. Dans le cas de la Terre, F_{in} est relativement faible devant F_g (à l'équateur, où sa valeur est maximale, elle est encore 300 fois plus faible). Autrement dit, sur Terre F_g et \vec{P} sont pratiquement confondus (sur notre schéma, c'est intentionnellement qu'on a considérablement exagéré leur rapport), ce qui revient à admettre que gravitation et pesanteur sont ici assez comparables.

Le poids mesuré à la surface terrestre prend donc en compte une force d'inertie centrifuge qui vient en déduction de la gravité (sauf aux pôles où cette force d'inertie n'existe pas). Toutes choses égales par ailleurs, le poids d'un objet donné sera d'autant plus faible que la planète tournera plus rapidement sur elle-même.

Schéma 2. Dans la vie quotidienne, on appelle **poids** la force qui plaque un objet sur son support, ici à la surface du sol.

Schéma 3. Cette force attractive qu'exerce la Terre sur la pomme peut être mesurée. Dans notre exemple, la pomme repose sur un support mobile en contact avec le sol par l'intermédiaire d'un ressort compressible. Il est évident que notre instrument peut fournir une mesure de \vec{P} .

aussi, placée par Michel dans l'espace, reproduisit, mais sans aucun truc, la suspension merveilleuse opérée par les Caston et Robert-Houdin. La chienne, d'ailleurs, ne semblait pas s'apercevoir qu'elle flottait dans l'air.

Eux-mêmes, surpris, stupéfaits, en dépit de leurs raisonnements scientifiques, ils sentaient, ces trois aventureux compagnons emportés dans le domaine du merveilleux, ils sentaient que la pesanteur manquait à leur corps. Leurs bras, qu'ils étendaient, ne cherchaient plus à s'abaisser. Leur tête vacillait sur leurs épaules. Leurs pieds ne tenaient plus au fond du projectile. Ils étaient

comme des gens ivres auxquels la stabilité fait défaut. Le fantastique a créé des hommes privés de leurs reflets, d'autres privés de leur ombre ! Mais ici la réalité, par la neutralité des forces attractives, faisait des hommes en qui rien ne pesait plus, et qui ne pesaient pas eux-mêmes !

Soudain Michel, prenant un certain élan, quitta le fond, et resta suspendu en l'air comme le moine de la Cuisine des Anges de Murillo.

Ses deux amis l'avaient rejoint en un instant, et tous les trois, au centre du projectile, ils figuraient une ascension miraculeuse.

... et l'impesanteur ?

Par définition, un champ d'impesanteur est réalisé dans tout système de référence (R') dans lequel la somme $\vec{F}_g + \vec{F}_{in}$ est nulle ou très faible devant \vec{F}_g , \vec{F}_{in} désignant la force d'inertie d'entraînement dans (R').

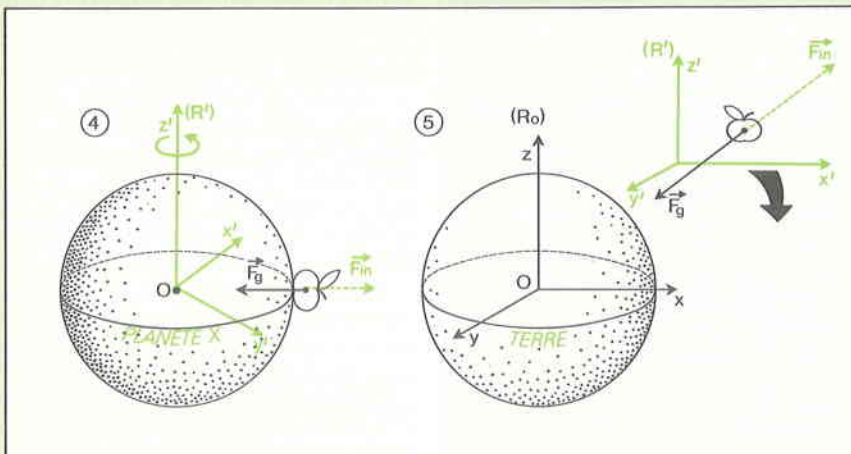
Le poids d'un corps au repos dans (R'), mesuré avec des appareils liés au système (R'), est alors nul ou voisin de zéro.

Schéma 4. Il illustre la possibilité pour les deux vecteurs \vec{F}_g et \vec{F}_{in} de se compenser. Pour ce faire, il convient de placer l'objet à l'équateur (alignement des deux vecteurs) et d'envisager une planète, qu'on dénommera X (même masse et mêmes dimensions que la Terre), tournant bien plus vite autour de l'axe des pôles.

Le calcul montre que sa rotation doit être environ 17 fois plus rapide; autrement dit, elle effectuerait un tour sur elle-même en un peu moins d'une heure et demie, contre 23 h 56 mn 4 s pour la Terre.

(Pour alléger le schéma, nous avons omis le repère Ro.)

Schéma 5. Dans cet exemple-ci, l'objet n'est plus immobile par rapport à la surface terrestre, mais décrit une trajectoire gravitationnelle (ce peut être un satellite de la Terre ou simplement un objet qui tombe en direction de la Terre, la résistance de l'air étant négligée). Là encore, dans le repère (R'), on observe une compensation des forces \vec{F}_g et \vec{F}_{in} . C'est ce cas qui sera examiné en détail dans ce numéro. (Documents EI — Boltana/Reilles).



« Est-ce croyable ? Est-ce vraisemblable ? Est-ce possible ? s'écria Michel. Non. Et pourtant cela est ! Ah ! si Raphaël nous avait vus ainsi, quelle « Assomption » il eût jetée sur sa toile !

— L'Assomption ne peut durer, répondit Barbicane. Si le projectile passe le point neutre, l'attraction lunaire nous attirera vers la Lune. » (...)

(Bien entendu, les passages que nous avons fait composer en caractères gras — afin d'attirer l'attention du lecteur — ne se détachaient pas du reste du texte dans le livre de J. Verne. Note de la rédaction.)

L'erreur de Jules Verne s'explique par une confusion dans les repères : il prétend observer à l'intérieur de *Columbiad* les modifications d'un poids défini

dans un repère (géocentrique) lié à la Terre et ne prenant en compte que les variations de la gravité terrestre et lunaire. Mais on a vu que la valeur de g n'a rien à voir avec l'impesanteur qui est essentiellement un phénomène dynamique affectant tout projectile subissant passivement la gravitation universelle — et cela quelle que soit la valeur de g tout au long de sa trajectoire.

Par contre, Hergé, dans *On a marché sur la Lune*, publié en 1954, a bien distingué la phase balistique (qui s'accompagne d'un état d'impesanteur à l'intérieur de la fusée) et la phase propulsée (avec création d'une pesanteur artificielle).

Examinons à présent les conséquences que peut avoir l'application

d'une force supplémentaire sur un véhicule spatial en chute libre.

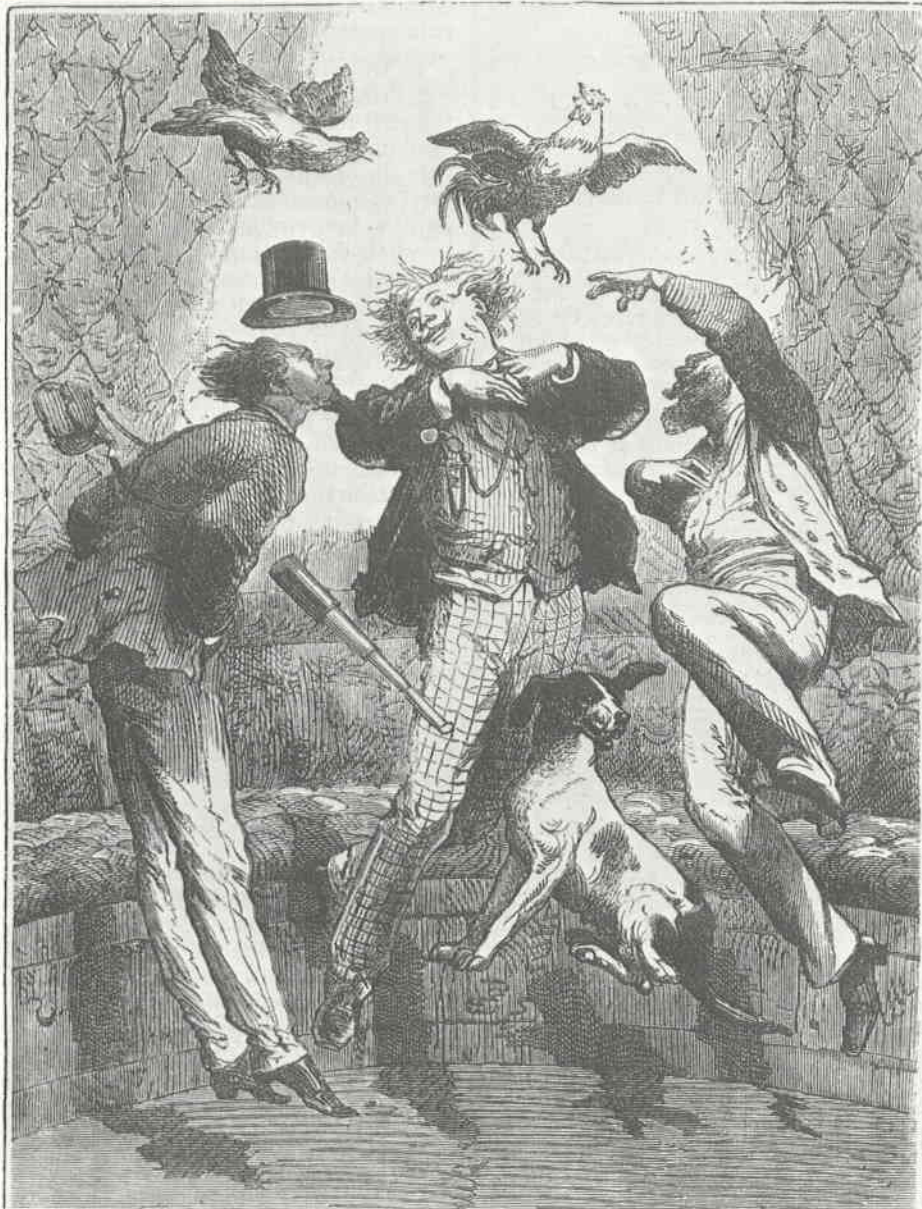
1. Moteurs éteints, un vaisseau spatial progresse dans le vide interplanétaire : il est en chute libre. Soudain ses moteurs sont allumés et le vaisseau exécute un brusque virage. Du fait de son inertie, le passager est projeté contre la paroi et l'ensemble de son corps ressent les effets de cette poussée. Les parois du vaisseau l'obligent à suivre la nouvelle direction prise par le vaisseau : tant qu'agit cette poussée le vaisseau n'est plus en chute libre et l'astronaute n'est plus en impesanteur.

2. Même prologue : le vaisseau spatial est en chute libre. Soudain surgit un corps céleste de forte densité qui dévie (par attraction gravitationnelle) le vaisseau spatial d'une façon rigoureusement identique au cas précédent (exécution d'un virage comparable). L'astronaute ne ressent absolument rien. En fait, le vaisseau est toujours en chute libre et l'astronaute se trouve toujours en état d'impesanteur. Ce n'est pas la paroi du vaisseau qui l'oblige à changer de direction mais le nouveau champ de gravitation. Et ce champ agit de façon quasi semblable aussi bien sur son corps que sur le vaisseau, de telle sorte que l'astronaute ne ressent aucune modification.

Ajoutons encore, pour en terminer avec ce sujet, que contrairement à ce qui est parfois écrit dans la littérature de science-fiction, l'état d'impesanteur ne cessera pas nécessairement au voisinage d'une grosse planète : tant qu'un véhicule décrit librement une trajectoire gravitationnelle, il est en chute libre... quelle que soit la proximité du corps attractif.

Particularités de l'état d'impesanteur

Avant d'aborder ce sujet, il convient de préciser que pour différentes raisons, on ne peut, dans la pratique, obtenir dans un véhicule spatial une impesanteur parfaite, forces de gravité et forces d'inertie ne se compensant pas exactement. Diverses causes (par exemple l'inhomogénéité de la Terre, le frottement atmosphérique, le mouvement du véhicule sur lui-même qui provoque l'apparition de ce qu'on appelle la force d'inertie de Coriolis,...) font qu'il subsiste toujours une accélération résiduelle ou qu'apparaissent sans cesse des accélérations parasites.



En particulier, au voisinage de la Terre, la gravité zéro est une limite vers laquelle on peut tendre mais qu'on ne saurait atteindre. Aussi les spécialistes préfèrent-ils le terme de **microgravité** (du grec *mikros* : petit) pour désigner cet état [10].

Quels sont les effets de l'impesanteur sur le contenu d'un véhicule spatial en chute libre ?

Pour les découvrir, revenons à notre cobaye du début qui n'est plus dans une banale cabine d'ascenseur mais dans un vaste local sans ouverture, qu'on appellera son laboratoire : il est confortablement installé sur une chaise, derrière un bureau sur lequel reposent quelques objets usuels. Pour le moment ce laboratoire est immobile sur la surface terrestre.

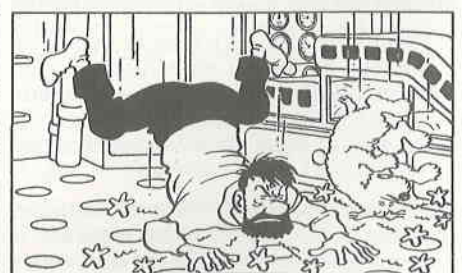
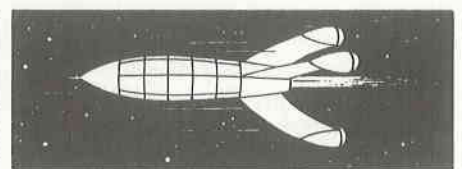
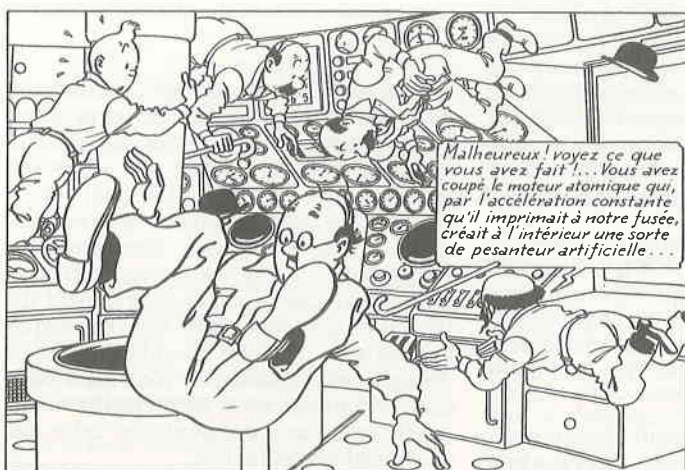
La caractéristique essentielle de cette scène banale est que tous les objets de ce laboratoire sont soumis à **leur poids qui les plaque sur leur support** : l'expérimentateur sur sa chaise, la chaise sur le plancher, le plancher sur la structure du laboratoire, le téléphone, les crayons et les livres sur la table, l'eau dans un verre, le verre sur une soucoupe, etc. Et il faut exercer des forces non négligeables pour les en déloger. Si notre cobaye saisit une gomme et la laisse tomber, elle se dirige naturellement vers le sol.

Dans l'espoir d'observer des changements notables, mettons ce laboratoire en mouvement au voisinage de la sur-

[10] Néanmoins la définition officielle du mot **impesanteur** impliquant une somme des forces d'inertie et gravitationnelle nulle ou très faible, il est loisible d'employer indifféremment l'un ou l'autre terme, ce que nous ferons dans ce numéro.

Ci-dessus : quelle euphorie, quelle ivresse semble procurer l'état d'impesanteur ! C'est du moins ce qu'exprime ce dessin de E. Bayard gravé par Hildibrand illustrant le récit de Jules Verne, *Autour de la Lune*, paru il y a plus d'un siècle. (Doc. B.N., Paris)

Ci-dessous : sur le plan scientifique, Hergé a manifesté plus de rigueur que son illustre prédécesseur. Selon les phases du vol, les passagers de la fusée qui se dirige vers la Lune sont soit en état d'impesanteur (à gauche, lorsqu'aucune poussée ne s'exerce), soit soumis à une pesanteur artificielle (à droite, lorsque fonctionne un propulseur). (Extraits de *On a marché sur la Lune*, par Hergé, © by Éditions Casterman, 1954)



face terrestre. Par exemple, soumettons-le à des vitesses élevées ou à de fortes accélérations. Pour cela, installons-le dans un train à très grande vitesse (jusqu'à 300 km/h) ou dans la soute d'un avion supersonique (jusqu'à 2 000 km/h). Que constate-t-on ? A vrai dire très peu de différences. Bien sûr, si le décollage de l'avion est un peu violent ou si le train modifie brutalement son mouvement, un livre peut glisser sur le bureau et même tomber au sol. Mais nécessairement il s'arrêtera quelque part et y restera.

Et le verre d'eau que l'on tient fermement ? Son contenu peut subir, en raison de mouvements extérieurs brutaux du même type, de vives secousses. Une fraction du liquide peut s'en échapper, s'écouler sur la table puis sur le sol du laboratoire. Suivant la « pente naturelle » et soumise à son poids, l'eau va gagner les parties les plus basses du véhicule (comme pour se diriger vers le centre de la Terre) puis n'en bougera pratiquement plus.

Au total, rien de bien inhabituel, que le laboratoire soit immobile ou en mouvement. La raison ? C'est que la pesanteur terrestre ne cesse d'agir et de manifester ses effets.

Et en impesanteur alors ? Nous y venons. Le laboratoire — toujours lui — est tranquillement posé à la surface terrestre quand soudain... la Terre s'entrouvre et il entame une descente vertigineuse à l'intérieur du puits (évoqué précédemment) où le vide a été fait (pour éviter toute résistance atmosphérique) : il tombe en chute libre et entre ses murs c'est l'état d'impesanteur. Son passager prend-il conscience de ce changement d'état ? Constate-t-il quelque chose d'anormal ?

Oh ! que oui ! Dans son corps, tout d'abord, qui est le siège de modifications importantes : sur le système cardio-vasculaire (nouvelle répartition de la masse sanguine, déplacement de sang et de liquides organiques [11] vers les parties supérieures ce qui induira des perturbations du système de contrôle neuro-hormonal), sur le squelette et les muscles (qui n'ont plus à « supporter » le poids du corps), sur l'appareil de l'équilibration enfin.

[11] Il faut toutefois signaler la possibilité d'une compensation partielle de cet effet par application d'une pression négative à la partie inférieure du corps.

C'est d'ailleurs une technique (connue sous le sigle **LBNP**, *Lower Body Negative Pressure*) utilisée en médecine spatiale à des fins diverses : pour contrecarrer les effets circulatoires de l'impesanteur et pallier le manque de charge gravitationnelle à bord des stations Saliout (combinaison Tchibis des Soviétiques; voir EI, n° 15, p. 6). Les Américains, eux, y virent un moyen de suivre le processus de déconditionnement des astronautes au terme des missions Skylab.



Tandis que Milou s'étonne de sa soudaine et inattendue lévitation, le capitaine Haddock — légèrement lire et apparemment peu intrigué par l'étrangeté de la situation — semble surtout soucieux de récupérer son whisky.

C'est une vision à peine caricaturale d'un environnement normal brutalement soumis à des conditions d'impesanteur. Avec toutefois la restriction que, dans la réalité, un liquide violemment extrait d'un verre et livré à lui-même n'adopterait sans doute pas immédiatement une forme aussi idéalement sphérique. (Extrait de *On a marché sur la Lune*, par Hergé, © by Éditions Casterman, 1954)

En impesanteur, deux des trois sources d'informations contribuant au maintien de l'équilibre (d'une part, le système nerveux et ses divers capteurs reliés, entre autres, à la peau, aux articulations et aux muscles, d'autre part, l'appareil vestibulaire — qui détecte les accélérations angulaires et linéaires — situé dans l'oreille interne) sont perturbées; la troisième, la vision, n'étant pas altérée. Pour notre cobaye, il en résulte une sensation très particulière [12] : il ne perçoit plus ni haut ni bas, son corps ne pèse plus, ses membres non plus; il éprouve la sensation de flotter.

Mais ses fonctions vitales ne sont pas affectées : il voit, il respire, il entend; au prix de précautions particulières il peut s'alimenter. (Pour plus de détails sur les différents aspects de la vie en impesanteur — modifications physiologiques, travail, sommeil, loisirs, nutrition, élimination des déchets, santé, aspects psychologiques — nous renvoyons le lecteur à l'article *L'Homme dans l'espace* paru dans EI, n° 15, 1^{er} trimestre 1979.)

Par contre, attardons-nous sur le comportement des objets du laboratoire. Voulant renouveler l'expérience faite sur Terre, notre cobaye s'empare de sa gomme et ouvre la main pour la laisser tomber : elle ne bouge pas. Pourquoi ? Comme tous les objets du laboratoire, elle est déjà soumise à une chute libre, alors le fait que la main soit ouverte ou fermée ne change rien à son mouvement. (Par rapport au laboratoire, pris comme référentiel, il y a compensation entre force d'inertie et force

gravitationnelle. C'est au centre d'inertie du laboratoire que cette compensation est le mieux réalisée, mais on sait bien qu'elle n'est pas parfaite en raison d'autres forces perturbatrices, par exemple la traînée atmosphérique.)

Étonné, il cherche à l'éloigner de lui et lui imprime une brève poussée : elle décrit une trajectoire rectiligne (dans le sens de la poussée) jusqu'à heurter une paroi puis rebondit avant d'entreprendre une course complexe. Pourquoi ? C'est là un comportement dont rend compte la loi fondamentale de la dynamique (voir EI, n° 25, p. 8) : à une impulsion fait suite un mouvement rectiligne [13]. Dans notre cas pourtant la résistance de l'air du laboratoire viendra à bout de ce mouvement qui ne se poursuivra pas indéfiniment bien que de nouvelles forces parasites puissent remettre la gomme en mouvement.

Souhaitant se désaltérer notre cobaye s'empare du verre que l'on suppose encore posé sur la table, ce qui est loin d'être évident. Arrêtant le verre à hauteur de ses lèvres, il verra le liquide poursuivre son mouvement : l'eau va quitter le verre, vraisemblablement lui heurter la face et se fractionner en

(suite en page 15)

[13] A ce propos, précisons que si, en impesanteur, un objet n'a plus de poids, il possède toujours une masse d'inertie. Il ne faut pas imaginer que des astronautes, en impesanteur autour de la Terre, déplaceront aisément et rapidement de très lourds objets... Tout objet oppose en permanence une résistance à toute modification de son état de mouvement ou d'immobilité (c'est l'inertie); et pour déplacer ne serait-ce qu'une caméra de télévision un astronaute doit fournir un certain effort, l'effort à accomplir dépendant de l'accélération voulue.

En effet, pour déplacer un objet de masse m , il faut lui communiquer une accélération \vec{a} , donc appliquer une force \vec{F} telle que $\vec{F} = m\vec{a}$. Et l'effort que doit fournir l'astronaute correspond au travail de \vec{F} .

Plus la masse est grande, plus la force nécessaire pour lui communiquer une accélération donnée doit être grande. Plus l'accélération est faible, plus la vitesse obtenue au bout d'une durée donnée est faible. Et plus la vitesse est faible, plus le déplacement obtenu au bout d'une durée donnée est faible.

Les « piétons » du cosmos...

Si, jusqu'à présent, on a surtout parlé de l'impesanteur régnant à l'intérieur d'un vaisseau spatial, c'est pour la simple raison que c'est généralement là que se tiennent les astronautes. Car, bien sûr, à l'extérieur aussi c'est l'impesanteur...

Quand les impératifs de la mission l'exigent, un astronaute peut être amené à effectuer une sortie dans l'espace. Or, à l'extérieur de son vaisseau, il va — en plus — être exposé notamment au vide et à de forts écarts thermiques (voir EI, n° 15, p. 2). Pour affronter et supporter ce milieu hostile, il lui faudra revêtir une combinaison spatiale.

Supposons qu'ainsi protégé notre astronaute sorte de son véhicule spatial, un peu à la manière d'un parachutiste s'éjectant d'un avion [1] : sans précautions particulières, il s'élance dans le vide...

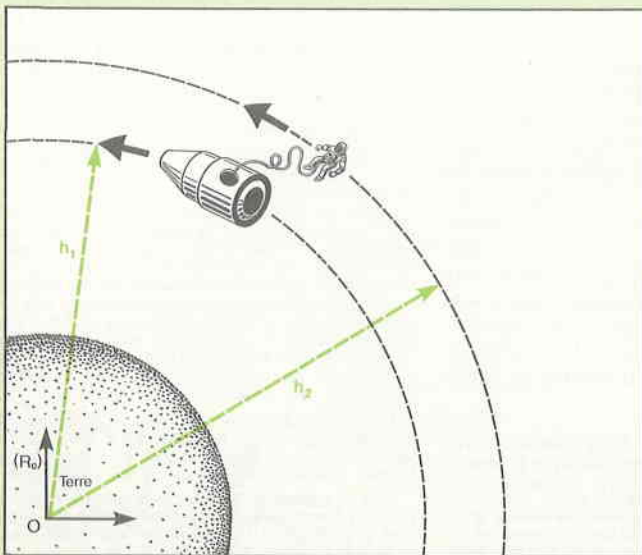
S'il agissait ainsi, il n'aurait aucune chance de revenir à son vaisseau. Car si le parachutiste est certain, lui, de regagner le sol, l'astronaute est dans une tout autre situation : dès l'instant qu'il quitte son vaisseau, il constitue un nouvel objet spatial, indépendant du premier, animé d'un mouvement propre (sa vitesse est légèrement différente de celle du vaisseau), en quelque sorte un nouveau satellite artificiel de la Terre... Et dans ce cas, il n'y a aucune raison pour que l'homme et son vaisseau restent l'un près de l'autre; au contraire ils vont progressivement s'éloigner l'un de l'autre.

Par conséquent, si l'astronaute tient à demeurer au voisinage de son véhicule et à le rejoindre à sa guise, une solution s'impose : rester en permanence relié par un filin de sécurité (c'est ce qu'on appelle le cordon, par analogie avec celui du nouveau-né). Et c'est effectivement ce qu'ont fait tous les astronautes américains et les cosmonautes soviétiques qui ont effectué des sorties extra-véhiculaires.

(Un exemple numérique [2] aidera à comprendre ce phénomène d'éloignement homme/vaisseau :

(...) dès l'instant où un homme de l'espace est matériellement détaché de son vaisseau cosmique, il constitue, du point de vue de la mécanique spatiale, un satellite distinct de ce vaisseau, qui aura son mouvement propre. (...)

Admettons que notre homme de l'espace se trouve, à un moment donné, à quelque 8 m au-dessus du centre de masse du vaisseau cosmique [et décrive également une orbite circulaire]. La durée de sa révolution est plus longue d'environ 0,01 s sur une orbite basse (à quelque 200 km de la Terre). Or, en 0,01 s, un satellite parcourt 78 m.



D'où cette situation. Imaginons un cosmonaute relié à son vaisseau par un cordon de 8 m. Il l'a laissé se dérouler en se déplaçant selon la verticale ascendante, puis il s'en est détaché avec d'infinies précautions croyant être relativement immobile par rapport à la cabine. Au bout d'une révolution, il se retrouve à 78 m en arrière ! Et il sera à 78 m en avant, s'il s'est déplacé vers le bas. (...)

Or, tout change avec un cordon dont, en fait, la solidité est secondaire car ces mouvements balistiques différents se traduiront par de très faibles tensions. Mieux, un cordon assure l'auto-rappel. (...) un homme de l'espace, ayant créé une impulsion pour s'écartier de son vaisseau spatial, sera conduit à s'en éloigner régulièrement. Jusqu'au moment où le cordon se tendra : alors, jouant le rôle d'un ressort, il créera une impulsion de sens inverse ayant pour effet de ramener l'homme de l'espace vers sa cabine. (...)

Revenons à notre astronaute au moment où il s'élance dans le vide (il est relié par un cordon à son vaisseau). Grâce à son scaphandre, il est protégé des effets du vide, du froid (ou du chaud) et de certains rayonnements... mais pas de l'impesanteur qu'il affronte, cette fois, d'une manière toute nouvelle : sans cadre de référence et surtout sans point d'appui !

Dans sa cabine, les parois, les sièges, les tableaux de bord et les instruments constituent un cadre de référence qui lui permet de se repérer (n'oublions pas que son organisme a perdu toute notion de haut et de bas), d'apprécier des distances et de localiser les objets. Malheureusement, à l'extérieur, les repères visuels sont peu nombreux et lointains : son vaisseau, le Soleil, la Lune et la Terre... s'ils se trouvent dans son champ de vision. Rien d'autre...

Et l'absence de tout point d'appui ne va pas lui faciliter la tâche. Car dans le vide il n'y a rien, absolument rien, sur quoi prendre appui...

La mécanique enseigne qu'un corps soumis à une attraction gravitationnelle ne peut, de lui-même, modifier le mouvement de son centre de masse. Néanmoins, au prix d'efforts musculaires appropriés, il peut réussir à modifier la position de son corps (à condition, bien sûr, qu'il n'y ait pas de rotation initiale), à prendre — autour de son centre de masse — une attitude déterminée (un peu comme le chat qui, au terme d'une chute libre, retombe toujours sur ses pattes). Pour y parvenir, il lui faut déplacer les bras et les jambes, cambrer le buste, effectuer des contorsions épuisantes... Pas étonnant, dans ces conditions, qu'il ait été comparé à un nageur débutant en train de se débattre pour ne pas couler !

L'analogie n'est d'ailleurs pas si mauvaise puisque nous verrons dans le numéro 28 d'Espace Information que l'immersion de courte durée (quelques heures) est l'une des meilleures méthodes pour apprendre, sur Terre, à se déplacer en impesanteur.

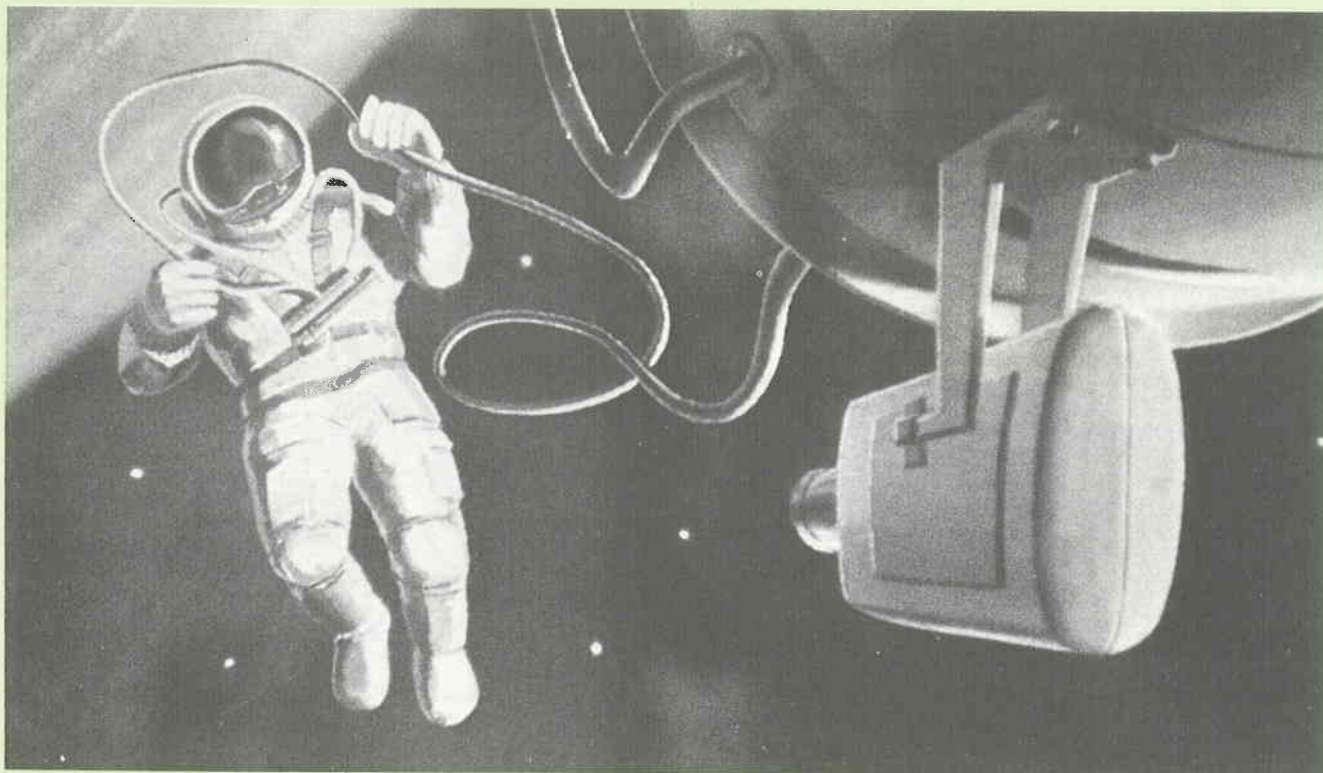
(Cette technique peut aussi être un excellent moyen pour éprouver soi-même une partie des difficultés rencontrées par un astronaute hors de son vaisseau : pour cela il suffit de plonger dans le bassin d'une piscine et d'essayer d'adopter une position bien précise ou de faire un demi-tour sur soi... Ce n'est pas très facile et pourtant l'eau est un support matériel — très fluide, il est vrai — sur lequel on peut prendre appui, ce qui est totalement impossible dans le vide.)

(suite en page 13)

[1] Nous n'envisagerons pas ici les modalités pratiques de la sortie dans l'espace (sas de dépressurisation, ...).

[2] Il est extrait de *Cosmos encyclopédie*, Sciences et Avenir, 1973, tome 7, p. 859.

Pour une orbite supposée rigoureusement circulaire, définie dans le repère géocentrique (R₀), supposé galiléen, la période de révolution (T) d'un objet satellisé est d'autant plus importante que son altitude (h) est plus grande; autrement dit : h₁ < h₂ implique T₁ < T₂ (Doc. Et Boltana/Rellies)



Ci-dessus : un tableau du cosmonaute soviétique Leonov, le premier « piéton » de l'espace, qui puise dans son expérience professionnelle l'inspiration pour son œuvre picturale. (Photo Roger-Viollet)

Ci-dessous : moins de trois mois après Leonov, l'Américain White effectue une sortie dans l'espace d'une vingtaine de minutes. (Photo USIS)



(suite de la page 12)

A le voir s'agiter ainsi, on peut l'imaginer en train de nager, de planer... mais sûrement pas de marcher. Et pourtant, au temps des premières sorties dans l'espace, en 1965, c'est l'expression qui fut retenue par les media : la **marche dans l'espace**, les spécialistes préférant parler d'activité extra-véhiculaire.

Comment se déroulèrent les premières *marches dans l'espace* ? Très difficilement, ce qui n'a en soi rien d'étonnant. Imaginons la scène : en proie à une vive excitation, l'astronaute s'éloigne de son vaisseau, son pouls et sa respiration s'accroissent. Bien vite il transpire abondamment ce qui embue l'intérieur de son casque et lui brouille la vue. D'ailleurs pour le peu qu'il voit dans l'obscurité du ciel : une paroi de son vaisseau qui brille au Soleil et, dans le lointain, la Terre... Rien d'autre pour l'instant. A grand peine, il essaie de faire pivoter son corps, de faire face à son vaisseau spatial. Pour s'en rapprocher, il tire sur son cordon qui s'enroule autour de ses jambes et le gêne dans ses mouvements. Les efforts qu'il déploie sont énormes, la dépense énergétique considérable.

Pas surprenant, dans ces conditions, que le premier piéton de l'espace, Leonov, ait regagné son vaisseau *complètement épuisé* après une dizaine de minutes de marche dans l'espace (mars 1965).

Peut-on, dans ces conditions, envisager de faire travailler un astronaute dans l'espace ? Et le fait est que les premières tentatives en ce domaine ont été décevantes. Elles ont mis en évidence la *nécessité de disposer de points d'appui* (poignées, barres, filins, emplacements pour les pieds,...) sur les parois extérieures du vaisseau et d'*outils appropriés*. Sans point d'appui, la moindre opération devient infernale du fait de la réaction qui accompagne toute action. Sur Terre, les deux pieds fermement posés sur le sol, on peut sans difficulté desserrer un écrou ; mais dans l'espace, sans adhésion à un support, on tourne dans le sens opposé sans desserrer l'écrou !

Pour faciliter les *déplacements dans l'espace*, l'idée est venue d'équiper l'astronaute d'une sorte de pistolet spatial qui lui permettrait (par éjection d'un gaz) de créer de brèves impulsions et de se propulser par réaction. Premier Américain à s'aventurer hors d'un vaisseau spatial, White a expérimenté, le

(suite en page 14)

Les « piétons » du cosmos... (suite)

(suite de la page 13)

3 juin 1965, un tel instrument, le ZIP (Zero-g Integration Propulsion) qui fit de lui le « premier homme à moteur ».

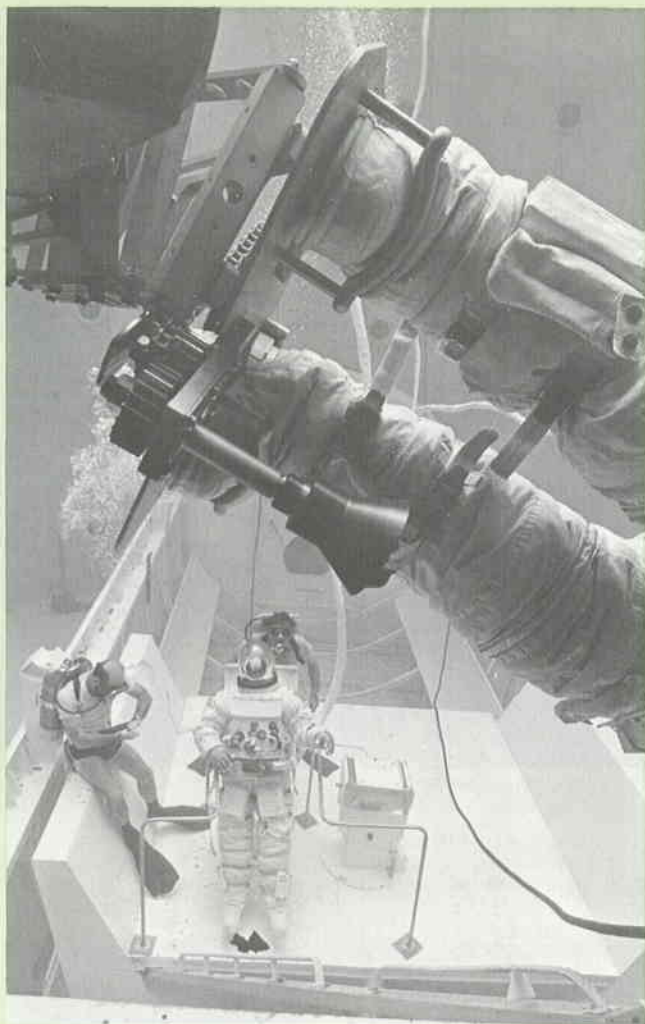
Aujourd'hui des systèmes plus perfectionnés — fonctionnant selon le même principe — existent, par exemple le *Manned Maneuvering Unit* (MMU) mis au point aux États-Unis [3] : il tient à la fois du sac à dos et du siège volant et devrait permettre aux passagers de la Navette d'inspecter la soute de l'orbiteur ou d'entreprendre diverses activités extra-véhiculaires en rapport avec les missions (mise sur orbite de satellites, réparation in situ,...).

[3] Voir EI, n° 22, p. 18.



Ci-dessus : dans la perspective d'une éventuelle intervention sur orbite, un technicien simule le remplacement d'un module d'un satellite au moyen d'un outil capable, en impesanteur, de desserrer les boulons sans transmettre de couple contraire à l'utilisateur.

Ci-contre : apprentissage en piscine des gestes à accomplir en impesanteur. Astronautes et scaphandriers évaluent les méthodes et l'équipement devant servir, dans l'espace, à la maintenance du futur Space Telescope. (Doc.NASA)



Comment se peser dans l'espace ?

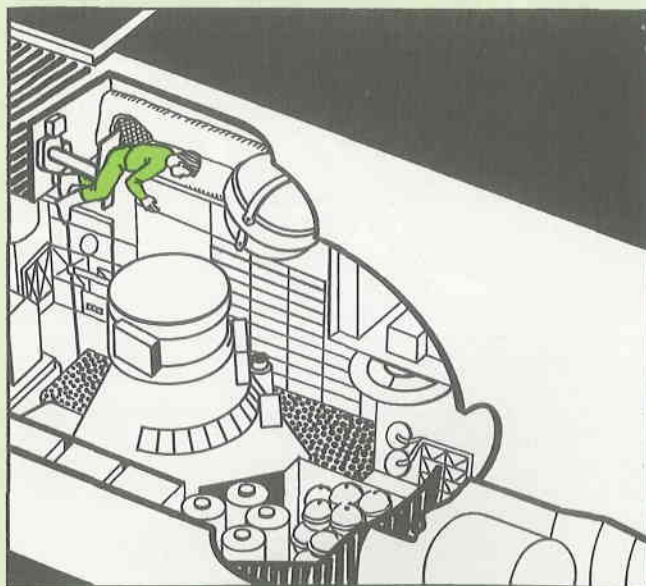
Il a été dit par ailleurs qu'une mission spatiale de longue durée à bord d'un laboratoire orbital n'était pas sans incidence sur l'organisme — donc la santé — des hommes. Aussi une surveillance médicale est-elle régulièrement assurée par les cosmonautes eux-mêmes. Parmi les nombreux contrôles effectués figure, bien entendu, la pesée qui est un examen médical important.

Mais comment se peser dans l'espace alors que le poids est une notion qui n'a plus de sens ? Tout simplement en cherchant à mesurer... la masse des cosmonautes qui, elle, existe toujours.

A cette fin, la station soviétique Saliout-6 (ainsi que Saliout-7) disposait d'une balance installée au plafond (voir le schéma ci-contre). Le principe de la pesée consiste à faire osciller la partie mobile d'un instrument sur laquelle prend place le cosmonaute; la fréquence des oscillations étant en relation avec la masse du patient. Un étalonnage fait au sol, avant le vol, permet d'établir la relation fréquence/masse).

Au cours des vols de longue durée, l'opération de pesée est faite de deux à quatre fois par mois.

C'est vraisemblablement dans cette position que les occupants des stations spatiales Saliout procèdent à la détermination de leur masse. (Doc. El-Boltana/Reilles d'après une gravure soviétique)



(suite page 11)

volumes de petites dimensions tendant plus ou moins à prendre la forme de sphères qui flottent autour de lui. Pourquoi ? Parce que contrairement à ce qui se passe au sol, ce ne sont plus les forces de volume (le poids) qui s'imposent mais celles de surface : c'est la *tension superficielle* qui est responsable de la forme sphérique qu'ont tendance à adopter tous les liquides en impesanteur (voir en page 18 le chapitre consacré aux liquides).

N'y tenant plus, le passager veut se lever et pour cela prend appui sur ses jambes... ce qui le fait quitter rapidement son siège et le sol : il s'élève vers le plafond ! Pourquoi ? Parce que toute action, même minime, engendre une force de réaction dont l'effet est souvent spectaculaire en impesanteur. Dans cet état, un objet n'est plus « plaqué » contre son support par la gravité. Le simple contact peut être maintenu, mais la moindre perturbation va le séparer de son support et il va errer à travers la cabine... (Sur Terre, quand pour quitter un siège nous prenons appui sur nos pieds, notre poids nous maintient toujours contre le sol. En impesanteur, ce même mouvement revient à nous éloigner vivement du plancher !)

Pour cette raison, tous les objets qui n'étaient pas fixés vont être dispersés en peu de temps à travers le laboratoire. Gagarine, le premier homme de l'espace, commentait ainsi son expérience :

Arraché au plancher, je suis resté suspendu entre plancher et plafond. (...) Tout est devenu soudain plus léger. Mes bras, mes jambes, tout mon corps semblaient n'être plus à moi. Ils ne pesaient rien. Je n'étais ni assis ni couché, je flottais. Et les objets non arrimés planaient, eux aussi, je les observais comme en rêve. (...) Les gouttes de liquide sorties d'un tuyau avaient pris l'aspect de billes, elles se déplaçaient librement dans l'espace et, au contact des parois de la cabine, y adhéraient comme de la rosée à une fleur. (...) [14]

C'est ainsi d'ailleurs qu'ayant égaré son crayon, « parti » en un endroit inaccessible de la cabine, Gagarine dut dicter ses notes à un magnétophone.

Car, bien sûr, tout ce qui vient d'être décrit par le biais de cette expérience fictive mettant en scène un laboratoire en chute libre dans un puits est valable pour tout véhicule spatial soumis à la seule influence de la gravitation.

[14] *La route de l'espace*, Youri Gagarine, Prosvetchchénié, Moscou, 1961, pp. 160-162.

[15] g_0 correspond à l'accélération de la pesanteur terrestre au niveau de la mer et g à celle obtenue naturellement ou artificiellement du lieu de l'expérience.

Un milieu expérimental différent

Alors que les processus physiques ou biologiques ont été bien étudiés en hypergravité ($g > g_0$) il n'en est pas de même en hypogravité ($g/g_0 < 1$) principalement aux très faibles niveaux de gravité ($g/g_0 < 0,001$) [15].

La diversité des modifications physiologiques observées sur l'organisme humain montre la richesse du champ d'investigations qui s'offre aux chercheurs concernés par les problèmes de survie et d'adaptation de l'Homme dans l'espace. Mais il sera tout aussi intéressant de soumettre à ces conditions particulières des représentants du règne animal ou du règne végétal. L'ensemble de ces recherches spatiales qui touchent aussi bien à la médecine qu'à la biologie (zoologie, botanique,...) s'insère dans ce qu'on appelle les *sciences de la vie* [16]. Elles se proposent d'étudier l'influence de la pesanteur sur les organismes vivants (dont l'Homme) au cours de leur évolution et pendant la période de maturation ou sur le fonctionnement normal d'un organisme.

Second grand domaine d'études mettant à profit les particularités de l'impesanteur, la *science des matériaux* [16]. En effet, de curieuses et importantes modifications apparaissent lorsqu'on examine de plus près le comportement de la matière. Qu'observe-t-on lorsque s'établit une pesanteur très réduite ? D'une part, la disparition de phénomènes admis comme « naturels » sur Terre, d'autre part, l'apparition de phénomènes inobservables en temps normal (lorsque règne une pesanteur normale); de secondaires certains mécanismes deviennent prépondérants.

[16] *Les sciences de la vie et la science des matériaux dans l'espace* seront largement développées dans le numéro 29 d'Espacé Information qui traitera des recherches en microgravité.

[17] Un film réalisé lors d'une mission spatiale sur Skylab montre un astronaute en train de souffler, à l'aide d'une paille, une grosse goutte d'eau (puis une bulle d'air à l'intérieur !) qui se met ensuite à flotter librement dans la station...

[18] En fait le processus est plus compliqué qu'on ne le pensait initialement : outre la gravité, beaucoup d'autres forces entrent en jeu comme l'ont montré de récentes expériences sur fusées-sondes.

On sait, en effet, qu'un liquide simple constitué d'une seule phase demeure immobile en impesanteur tandis que les liquides non miscibles, à deux phases, sont encore animés de mouvements internes mal connus dus à des interactions physiques et physico-chimiques aux limites de phase.

[19] *Challenges and perspectives of microgravity research in space*, par Y. Malméjac, A. Bewersdorff, I. Da Riva et L.G. Napolitano, ESA BR-05, 1981, p. 34.

Ces modifications sont particulièrement sensibles pour certains processus physiques ou chimiques (de type métallurgique) mettant en jeu au moins une phase fluide : croissance cristalline, solidification d'alliages, séparation électrocinétique de substances biologiques,... En impesanteur, ces processus vont se dérouler dans des conditions très différentes de celles rencontrées sur Terre : leur étude fait l'objet des recherches en science des matériaux dans l'espace.

Recensons les principales différences constatées :

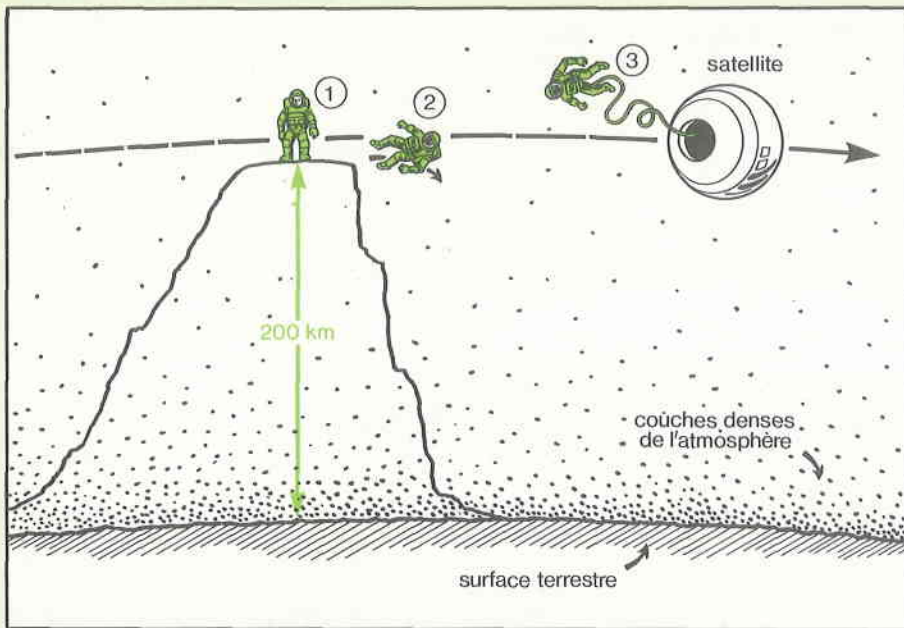
★ **absence des phénomènes de séparation** observés, sur Terre, dans les systèmes hétérogènes (une phase fluide et des éléments solides, liquides ou gazeux) du fait des écarts de densité. Il s'agit de la *sédimentation* (précipitation de matière dissoute ou en suspension) et de la *poussée d'Archimède* (en anglais : *buoyancy*) qui, sur Terre, sont dominantes dans tous les systèmes fluides : ici-bas, c'est bien connu, dans un milieu liquide, le « plus léger » monte et le « plus lourd » descend. (En impesanteur, au contraire, ceci ne se produit plus, lourd et léger n'ayant plus de sens.)

Avantage évident : en impesanteur on peut espérer disposer de mélanges qui, sur Terre, évolueraient rapidement d'une façon défavorable (liquides thermodynamiquement immiscibles, suspensions de particules solides ou de bulles gazeuses au sein d'un fluide [17],...). Et ces mélanges pourront être solidifiés sans séparation ni ségrégation [18]. Pour les scientifiques et les techniciens, c'est l'espérance d'obtenir des matériaux ou alliages impossibles (ou difficiles) à produire sur Terre et intéressants par leurs propriétés mécaniques, électriques, optiques, magnétiques ou autres.

En contrepartie, dans l'espace, les inclusions gazeuses seront plus difficiles à éliminer (sur Terre le dégazage a lieu naturellement) et l'existence de phénomènes secondaires rendra quasiment impossibles la stabilisation d'une répartition de particules dans un fluide et la suppression de tout mouvement interne. De toute façon, il ne faut pas croire que les particules puissent demeurer immobiles : une publication récente de l'ESA [19] a recensé dix-neuf mécanismes pouvant être responsables du mouvement d'une particule au sein d'une phase fluide en impesanteur !

(suite en page 18)

Quelques idées fausses sur l'impesanteur...



Expérience fictive destinée à dissiper certaines idées fausses sur l'impesanteur.

Soit trois hommes se trouvant sensiblement à une même distance au-dessus du sol, de l'ordre de 200 km, à l'instant où l'on s'intéresse à eux.

A cette altitude, il n'y a pratiquement plus d'atmosphère, aussi ont-ils revêtu une tenue protectrice de cosmonaute.

- Le premier se tient immobile au sommet d'une montagne de 200 km (sic, c'est de la fiction !) qu'il a escaladée;

- Le deuxième est un désespéré qui, pour des raisons personnelles, se jette dans le vide depuis le même sommet;

- Le troisième est passager d'un satellite artificiel qu'il vient de quitter pour se livrer à des activités extra-véhiculaires.

Combien d'entre eux sont en impesanteur ? Et pourquoi ? (La réponse est en page 18.) (Document E1 — Boltana/Reilles)

A la question : « Pourquoi les occupants d'une station orbitale sont-ils en impesanteur ? », il n'est pas rare de s'entendre répondre : « Parce qu'il n'y a plus d'air autour ! », ou bien : « Parce qu'ils sont très loin et que la Terre ne les retient plus », ou encore : « Parce qu'ils vont très vite, alors ils flottent »...

Avec cet encadré, nous voudrions faire un sort aux prétendues « explications » de ce type qui traduisent une mauvaise compréhension du phénomène d'impesanteur et qui sont autant d'idées reçues qu'il faut balayer...

★ Ce n'est pas en raison de l'absence d'atmosphère à l'extérieur de leur station orbitale que les cosmonautes flottent au-dessus de leurs sièges !

On retrouve là la confusion regrettable qui conduit certaines personnes à associer, d'une part, la présence d'atmosphère et l'attraction terrestre, d'autre part, le vide et l'absence d'attraction terrestre donc l'impesanteur. Rien n'est plus faux ! [*]

Le vide s'obtient simplement en extrayant l'atmosphère gazeuse d'un local ou d'une enceinte tandis que l'impesanteur ne peut s'obtenir que par un mouvement de chute libre; ce qui n'a aucun rapport ! Pour s'en convaincre, il suffit de placer quelques objets à l'intérieur d'une cloche à vide pour constater qu'ils n'ont pas perdu leur poids pour autant...

(Rappelons aussi l'exemple de la Lune qui n'a pas d'atmosphère mais possède néanmoins une pesanteur non négligeable : on ne flotte pas à la surface de la Lune !)

Mais il est vrai que ce mouvement de chute libre — générateur du phénomène d'impesanteur — peut être contrarié par diverses forces de frottement (gazeux ou liquide) d'où la nécessité d'un assez bon vide dans l'aire d'évolution du véhicule considéré (satellite, avion ou fusée en vol balistique, tour d'impesanteur).

Pour conclure, disons que l'absence d'atmosphère est — à quelques exceptions près (voir p. 3) — une condition nécessaire à l'obtention de l'impesanteur mais qu'elle n'est pas du tout une condition suffisante !

★ Il est faux d'invoquer l'éloignement de la Terre pour expliquer l'impesanteur, autrement dit de sous-entendre que vers 300 km, à l'altitude moyenne des stations habitées, l'attraction terrestre serait très faible, en un mot négligeable !



Un exemple d'interprétation erronée de l'état d'impesanteur. Celui-ci est extrait d'une publication pour la jeunesse éditée il y a une quinzaine d'années.

S'il est vrai que la valeur de la pesanteur terrestre diminue quand on s'éloigne de la Terre (voir E1, n° 25, p. 15), ce n'est qu'au rythme moyen de 1 % tous les 32 km; ce qui signifie qu'à 300 km elle n'a pas encore perdu 10 % de sa valeur au sol. Elle est donc loin d'être nulle !

(suite en page 17)

[*] Cette affirmation mérite cependant d'être nuancée. Car il est vrai que pour rendre compte, dans certains cas, de l'absence d'atmosphère autour d'une planète ou d'un satellite naturel, on peut être amené à invoquer sa trop faible pesanteur incapable de retenir les molécules gazeuses, voir E1, n° 25, p. 17.

(suite de la page 16)

(Et quand bien même serait elle nulle... Rappelons que, de toute façon, la valeur de g — quel que soit l'astre attracteur, Soleil, Lune, planètes, comètes... — n'a rien à voir avec l'état d'impesanteur qui n'est lié qu'à l'existence d'une chute libre. Il a été dit par ailleurs, p. 6, qu'un véhicule spatial — même soumis à une très faible attraction gravitationnelle — n'était pas en impesanteur si son système propulsif fonctionnait ou s'il subissait un frottement aérodynamique, par exemple en traversant une atmosphère gazeuse. Au contraire, même soumis à une attraction gravitationnelle considérable, un véhicule spatial serait en impesanteur s'il subissait un mouvement de chute libre « authentique »...)

★ On n'obtient pas nécessairement l'état d'impesanteur en conférant une vitesse élevée à un véhicule !

Par exemple à l'intérieur d'une tour d'impesanteur (où une capsule expérimentale est mise en chute libre) l'état d'impesanteur est atteint dès le début de l'expérience alors que la vitesse est encore très faible (elle est donnée par la relation : $v = gt$ avec $g \approx 10 \text{ m.s}^{-2}$ et t la durée en secondes) : au bout de trois secondes, elle n'est que d'environ 108 km/h.

On peut aussi créer un état de quasi-impesanteur pendant une trentaine de secondes à bord d'un avion auquel on fera suivre une trajectoire balistique, à grande altitude : sa vitesse par rapport au sol pourra cependant rester inférieure à 1 000 km/h !

Par contre, pendant son vol propulsé, le dernier étage d'un lanceur de satellite artificiel atteindra (dans le repère géocentrique) une vitesse proche de 30 000 km/h... sans pour autant être en impesanteur. (Il le sera dès que la propulsion — qui crée une pesanteur artificielle, encore plus importante que celle de la Terre — aura cessé !)

Un véhicule quelconque ne peut connaître l'état d'impesanteur que lorsqu'il subit une chute libre non contrariée, ce qui n'a rien à voir avec sa vitesse. Il lui faut pour cela céder à l'attraction gravitationnelle ambiante ce qui peut le conduire à posséder — selon les conditions expérimentales — des vitesses très différentes les unes des autres :

— sa vitesse peut demeurer pratiquement constante en module (mais non en direction, c'est le propre du mouvement circulaire uniforme) : cas des satellites artificiels de la Terre en orbite circulaire; mais la vitesse d'un satellite à 200 km d'altitude sera différente de celle d'un satellite gravitant à 36 000 km, 7,8 km/s pour le premier et 3,1 km/s pour le second;

— elle peut être d'abord très faible puis croître régulièrement (cas d'une capsule dans une tour d'impesanteur);

— elle peut aussi varier considérablement sur la même trajectoire sans que l'état d'impesanteur en soit affecté pour autant. Lors du lancement vers la Lune d'une capsule Apollo, la vitesse du véhicule passait d'environ 40 000 km/h au voisinage de la Terre (après la phase propulsée) à moins de 3 300 km/h puis croissait de nouveau jusqu'à la Lune.

En résumé : l'impesanteur, ce n'est pas une question de vitesse !

L'impesanteur est une situation où l'attraction gravitationnelle de la terre est diminuée au maximum. Elle est légèrement différente de l'apesanteur qui est caractérisée par une absence totale d'attraction gravitationnelle.

Pourquoi chercher une différence là où il n'y en a pas ? (Extrait de AFP Sciences, n° 359, 2 juin 1983, p. 23)

★ Autre interprétation dont il faut se méfier, celle faisant intervenir un prétendu équilibre auquel serait soumis le véhicule en impesanteur. Elle est plus subtile car elle peut être correcte... à condition que quelques précisions complémentaires soient fournies, notamment la nature du repère considéré (mais le plus souvent, il n'est pas mentionné).

Prenons le cas du satellite artificiel de la Terre. Affirmer qu'il est en équilibre entre la force d'attraction terrestre et une force d'inertie centrifuge est passablement insuffisant. Dans quel repère raisonne-t-on ?

• Si c'est le repère géocentrique (considéré comme galiléen), c'est faux ! Dans ce cas-là, le satellite n'est soumis qu'à une seule force, celle de gravitation. Et, sous l'action de cette force, il est en chute libre, il « tombe » au sens où l'entendait Newton (voir EI, n° 25, p. 11), mais sans toutefois rejoindre le sol...

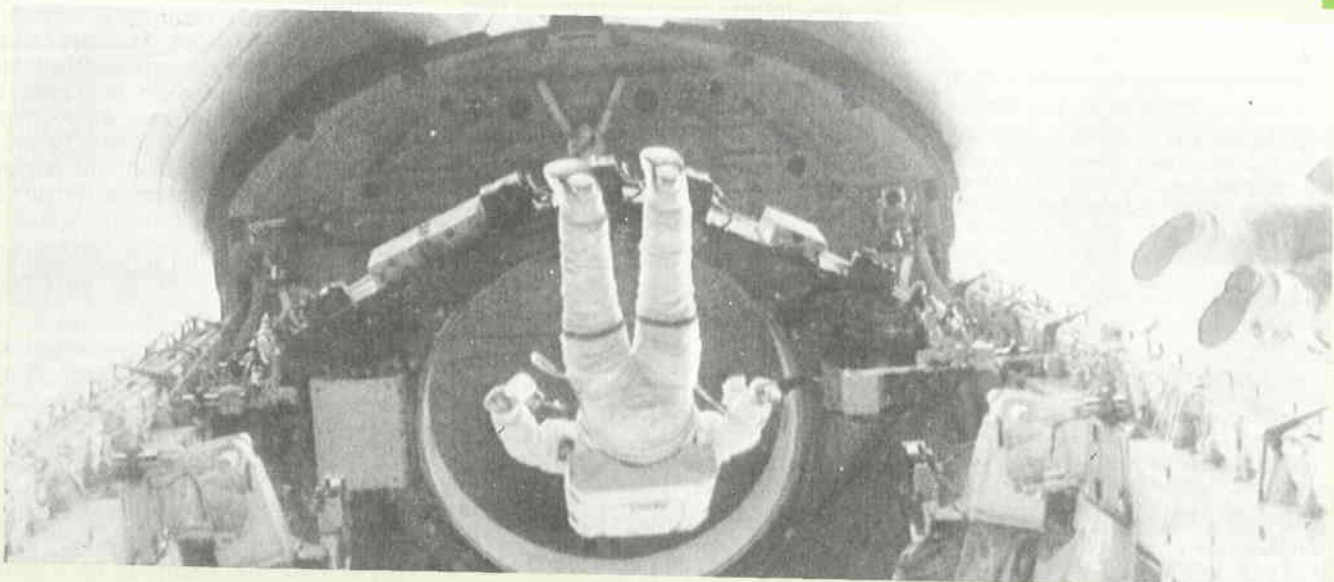
• Si c'est dans le repère tournant avec le satellite (donc non galiléen), il est vrai qu'on est amené à postuler l'existence de la force d'inertie d'entraînement pour rendre compte du phénomène d'impesanteur (voir ce numéro, p. 5).

★ Terminons en rappelant quelques brèves « vérités » dont les justifications ont été apportées dans l'article principal de ce numéro :

• pour les satellites, l'impesanteur ne s'obtient pas exclusivement sur les orbites circulaires !

• en aucun cas une centrifugeuse ne peut servir à simuler sur Terre l'état d'impesanteur !

• l'espace ne recèle aucune « zone particulière » (voir le récit de Jules Verne, p. 8) où les objets sembleraient perdre subitement leur poids !



Les Américains Musgrave (au centre) et Peterson, au-dessus de Challenger, lors de leur sortie dans l'espace au cours de la mission STS-6 de la Navette spatiale, en avril 1983. (Photo NASA)

(suite de la page 15)

★ **disparition du phénomène de convection naturelle dans les fluides** [20]. Sur Terre, ce phénomène résulte de la formation de zones plus ou moins denses, les plus lourdes tendant à descendre, les plus légères à monter.

On lui doit — entre autres — le mouvement des masses d'air chaud et froid de l'atmosphère, plus prosaïquement celles d'un appartement, ou encore le brassage naturel des liquides (par exemple les zones chaudes et froides de l'eau des océans mais aussi de celle contenue dans une casserole placée sur une plaque chauffante).

Dans le cas des liquides — qu'il s'agisse de substances naturellement liquides à la température ambiante ou de substances fondues —, des variations de composition ou de concentration (dues à des réactions chimiques, à des variations de température,...) sont à l'origine d'écarts de densité qui donnent naissance à une *circulation* dite *convective* favorisant le mélange du système liquide.

Mais en impesanteur, « lourd » et « léger » n'ont plus de signification et ce type de convection disparaît.

Pour cette raison, une expérience aussi banale que *la combustion d'une bougie ne peut se poursuivre normalement en impesanteur*. Rapidement la flamme s'entoure d'air chaud qui ne s'élève pas. Cet air chaud, riche en produits de combustion, empêche l'apport

[20] Du moins le phénomène de convection régi par la gravité car d'autres effets convectifs secondaires peuvent apparaître en raison des gradients de tension superficielle, des variations de volume, de l'application d'un champ électrique ou magnétique externe,... Ils peuvent limiter les avantages escomptés.

Réponse aux questions de la page 16

● **L'alpiniste** (1) reste soumis à une pesanteur assez peu différente de celle qui existe au niveau de la mer (à 200 km, son poids a diminué d'environ 6%). Bien entendu, il n'éprouve rien de particulier.

● **Le désespéré** (2) décrit une trajectoire balistique (comme le boulet de canon envisagé dans EI, n° 25, p. 4) : il est en chute libre et se trouve en état d'impesanteur.

● **Le cosmonaute** (3) est également en état d'impesanteur car son véhicule est presque exclusivement soumis à la gravité terrestre.

Cette expérience vise à montrer que l'état d'impesanteur n'est pas nécessairement lié à l'absence d'atmosphère (il reste soumis à une pesanteur presque normale), ni à un certain éloignement de la Terre (identique pour les trois hommes), ni à des vitesses élevées (au début de sa chute, 2 n'a qu'une vitesse très faible par rapport au sol comparée à celle de 3).

d'oxygène et provoque l'extinction de la flamme.

C'est également pour cette raison qu'est assurée la ventilation de l'atmosphère des stations orbitales afin de permettre l'uniformisation de la température ambiante et de favoriser le brassage du mélange gazeux respiré par les cosmonautes.

En impesanteur, l'absence de convection se traduira par la suppression de nombreux processus physiques modifiant le comportement diffusif des fluides. Grâce à cela, les chimistes peuvent espérer incorporer à un cristal en cours de formation une substance dopante d'une façon homogène lui donnant ainsi des propriétés uniformes (pour des applications possibles en électronique notamment).

★ **suppression de la pression hydrostatique**. Sur Terre, elle est notamment responsable de la tendance des liquides à se déformer sous l'effet de leur propre poids (un volume donné supportant le poids de ce qui est au-dessus de lui).

Le même phénomène existe aussi chez les solides et, pour ne considérer qu'un exemple à très grande échelle, l'impesanteur offrira la possibilité d'ériger dans l'espace de vastes structures (peut-être métalliques) qui — sur Terre — s'écrouleraient du fait de leur simple poids (voir EI, n° 22, p. 15).

Autre exemple, les panneaux solaires de grande envergure des satellites qui se briseraient au cours des essais si l'on tentait de reproduire au sol les manœuvres de déploiement prévues dans l'espace.

Ici-bas, la pression hydrostatique peut intervenir de façon défavorable lors de solidifications particulières (lentilles optiques, miroirs de télescope,...) et avoir une influence nuisible sur la qualité des produits élaborés.

★ **possibilité d'une lévitation naturelle de la matière**. Sur Terre, pour fondre une substance minérale, pour la porter à des températures élevées, on se sert d'un creuset. Dans l'espace cette opération pourra être faite « sans creuset » (*containerless* en anglais). Autrement dit, en impesanteur il sera possible de maintenir une substance liquide ou solide dans une région donnée de l'espace sans contact physique avec le moindre support.

Sur Terre, en raison de la pression hydrostatique, un liquide n'a pas de forme propre et doit être contenu par un récipient. Le contact entre la substance à étudier et les parois du récipient peut être à l'origine de diverses interactions (contamination parasite, échanges thermiques, sites déclenchant prématurément une cristallisation,...) qu'on

peut, dans certains cas, chercher à éliminer.

Par ailleurs, les propriétés de nombreux matériaux à l'état pur et les propriétés thermodynamiques à hautes températures de la plupart des matériaux sont encore inconnues en raison des limites imposées par la présence (c'est-à-dire le contact) de leur creuset. Il n'y a encore que peu de données sur les enthalpies, les chaleurs massiques, les densités, les viscosités et les tensions de surface de systèmes liquides au-dessus de 1000 °C; c'est dire l'intérêt présenté par la possibilité d'une lévitation naturelle...

Grâce à l'impesanteur, une substance solide pourra être fondue, manipulée, solidifiée et étudiée sans aucun contact avec un corps étranger. Pour confiner l'échantillon, on fera appel à des procédés acoustiques, électromagnétiques ou électrostatiques.

Le comportement des liquides en impesanteur

L'état liquide correspond à un état de la matière dans lequel l'agencement à grande distance des molécules n'est pas stable et que l'on peut caractériser par :

— la possibilité de déformations importantes sous l'effet de très faibles forces;

— une compressibilité pratiquement nulle;

— l'existence de forces internes de frottement.

Dans les conditions de température, de pression et de gravitation qui règnent à la surface de la Terre, un liquide reste à l'intérieur du récipient qui le contient : il en épouse la forme et est séparé de l'air environnant par une surface plane bien délimitée, la *surface libre*.

Toute fraction d'un liquide peut être soumise à des forces de différentes natures :

★ **forces de volume** (force de gravitation due à un champ de gravité; forces d'inertie dans un repère non galiléen; éventuellement action d'un champ électrique ou magnétique);

★ **forces d'entraînement ou de contact** (réactions des parois du récipient sur la masse liquide contenue);

★ **forces de viscosité** (qui apparaissent au sein du liquide lors du déplacement relatif de deux éléments contigus.

Ces forces de frottement sont sans influence sur les états d'équilibre statique);

★ **forces de surface ou capillaires** [21] (dues aux forces de liaison intermoléculaires; au sein du liquide, la somme de ces forces est nulle. Par contre, ces forces se manifestent aux frontières de la masse liquide, c'est-à-dire à sa surface).

Deux cas sont à considérer :

● deux phases sont en présence aux frontières du liquide (cas d'un mélange de deux liquides non miscibles ou d'un liquide en contact avec un gaz): le liquide se comporte alors comme s'il était couvert d'une membrane élastique sous tension uniforme laquelle agit tangentielllement à la surface et tend à donner à celle-ci une aire minimale. On définit un coefficient de **tension superficielle** (cette tension est un rappel élastique équivalant à une force par unité de longueur) qui est une caractéristique thermodynamique (fonction de la température et de la teneur en impuretés) des deux milieux en présence.

● la surface de séparation des deux phases (liquide/liquide ou liquide/gaz) est en contact avec une paroi solide. Dans ce cas, il s'établit un équilibre entre les forces de cohésion du liquide et les forces d'adhésion liquide/solide. La valeur de l'angle de contact détermine le **caractère mouillant ou non mouillant** du liquide (on parle de phénomène de mouillabilité).

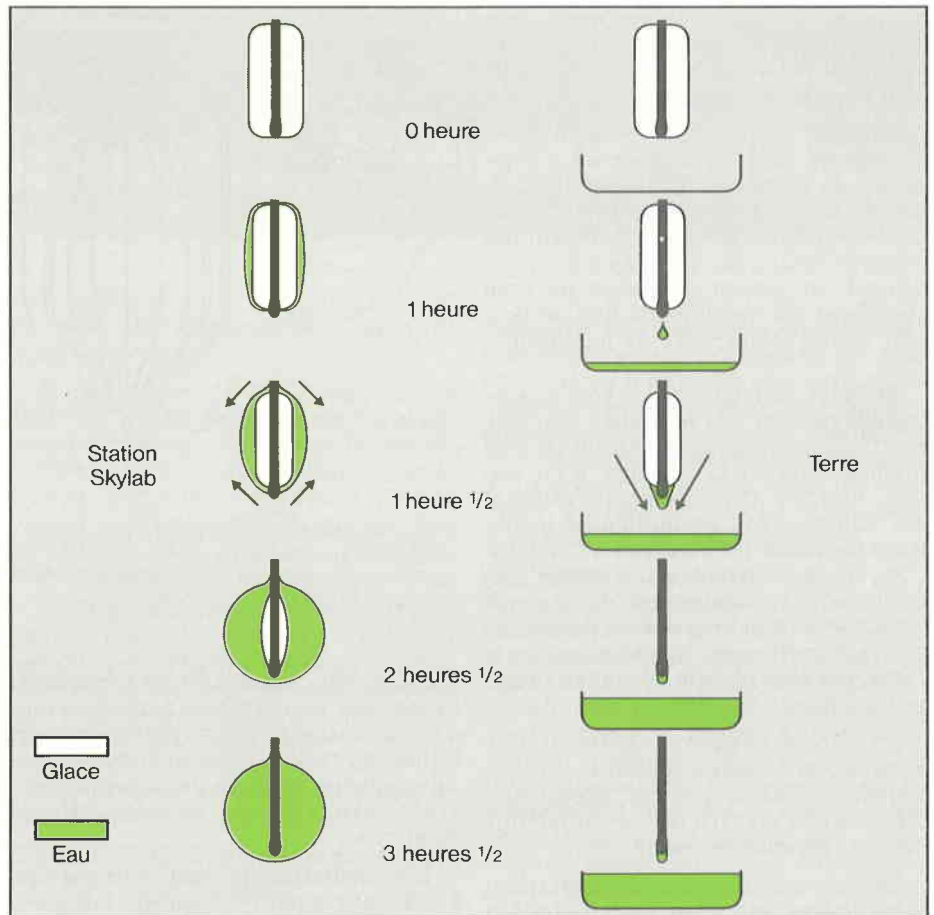
Selon que telle ou telle catégorie de forces sera dominante, on définira différents régimes de comportement du liquide. Pour simplifier, limitons-nous aux états d'équilibre statique (absence de mouvement du liquide): les seules forces qui agissent sont celles de gravité et celles de surface.

Que se passe-t-il en absence de gravité [22]? Ce sont les forces de surface qui vont s'imposer.

Dominant sur Terre, l'effet de pesanteur devient alors négligeable vis-à-vis des forces de cohésion et d'adhésion du liquide. Ce sont les phénomènes de tension superficielle et de mouillabilité qui détermineront la configuration du liquide, celle d'énergie minimale.

C'est ainsi qu'en impesanteur et en absence de contact avec des parois (cas d'un liquide en lévitation), tout volume de liquide tendra vers sa configuration d'énergie minimale, la plus stable: **la forme sphérique**. (Pour un volume donné, c'est la sphère qui offre la surface la plus faible.)

A titre d'illustration, on peut rappeler que c'est sur ce comportement

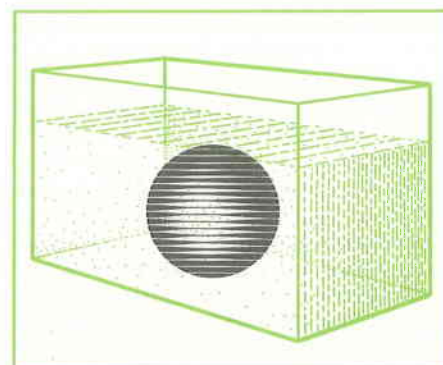


Considérons deux glaçons constitués autour d'un coton-tige. Le premier fut placé en impesanteur (dans Skylab, à gauche), le second subit une pesanteur normale (sur Terre, à droite). Lequel fondit le plus rapidement ?

Dans le premier cas, l'eau formée ne tombe pas mais adhère au glaçon qui se trouve entouré d'une sphère liquide laquelle retarde la fusion de la partie centrale.

Dans le second cas, les gouttelettes d'eau tombent au fur et à mesure de leur formation d'où une fusion plus rapide du glaçon (Doc. El-Boltana/Reilles d'après un dessin NASA)

qu'est basée la fabrication des plombs de chasse : de petites quantités de métal fondu mises en chute libre dans une installation appropriée adoptent la forme



Cette expérience est une réplique de celle publiée en 1861 par Plateau: au moyen de deux liquides de même densité, mais non miscibles, on peut simuler — au sol — l'absence de pesanteur grâce à la flottabilité d'un liquide dans l'autre.

La masse liquide isolée au sein du second fluide adopte la configuration sphérique. Une précision: la notion de haut et de bas est consensée, ce qui n'est pas le cas en impesanteur. (Doc. El-Boltana/Reilles)

sphérique et se solidifient avant d'atteindre le sol.

Sur le plan pratique, les complications qui résultent de ce comportement « insolite » sont évidentes. Comment contenir un liquide en impesanteur? Comment le faire couler? (Sur Terre il suffit de libérer un passage au point le plus bas de son récipient.) Comment, aussi, l'empêcher de se disperser ?

Pas question, bien sûr, de laisser un liquide à l'air libre dans une station orbitale: les boissons — maintenues dans des récipients clos — seront ingérées par aspiration, la toilette se fera à l'aide de serviettes humides [23], le

[21] Ainsi nommées parce qu'elles se manifestent plus nettement dans les tubes capillaires, c'est-à-dire de très petite section (littéralement: de la grosseur d'un cheveu; du latin *capillus*: cheveu).

[22] Sous-entendu: constatée par les occupants d'un véhicule spatial en impesanteur, voir p. 2.

[23] Sur les stations spatiales récentes, il faut noter l'existence d'une douche que l'on prend à l'intérieur d'une enceinte close, l'eau étant projetée en fines gouttelettes et aspirée à la partie opposée.

Le phénomène d'impesanteur

brossage des dents se fera bouche fermée (pendant un temps des industriels américains avaient songé à une pâte dentifrice comestible), etc.

Comme l'expliquait J.-L. Chrétien lors d'une conférence faite au Centre spatial de Toulouse, à la fin de 1982, en cas de fuite accidentelle d'un liquide dans la station, les cosmonautes n'ont d'autres ressources que d'éponger rapidement au moyen de pièces de tissu absorbant les fractions de liquide flottant dans l'atmosphère de la station...

Mais les difficultés *sur le plan technologique* ne sont pas moindres. On sait, en effet, que le fonctionnement de tout satellite requiert la présence d'un certain nombre d'équipements utilisant des liquides [24], en particulier le système propulsif [25] servant à l'acquisition et aux corrections d'orbite [26] ainsi qu'à la stabilisation du véhicule (contrôle de son mouvement autour du centre d'inertie pour son pointage sur la Terre, sur telle planète ou encore sur un secteur donné du ciel,...), etc.

(D'autres systèmes utilisent des liquides, en moindre quantité, pour la régulation thermique, la production d'eau et d'électricité — missions Apollo, Navette —, etc.)

En l'absence de précautions particulières, le liquide se répartirait au hasard dans le réservoir (en fait, de préférence le long des parois) et serait dans l'impossibilité d'alimenter régulièrement les propulseurs : il faut donc *assurer sa contention d'une façon adaptée et le contraindre à rester en contact permanent avec l'orifice de vidange*. Tâche

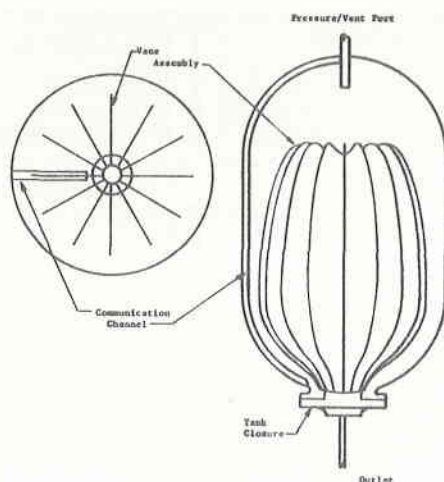
[24] Pour donner un ordre de grandeur des masses liquides embarquées, on peut indiquer que le futur satellite franco-allemand de télévision directe, TDF-1, pèsera au lancement environ deux tonnes dont la moitié (!) en substances liquides (ergols pour le moteur d'apogée, le contrôle d'attitude et d'orbite).

L'importance des problèmes liés à la présence des liquides n'est d'ailleurs pas nécessairement fonction du rapport des masses liquides/solides : dans les années soixante-dix, un satellite américain (ATS-F), stabilisé par rotation sur lui-même, a été « perdu » pour quelques dizaines de grammes de liquide malencontreusement disposés dans un caloduc (système utilisé pour le contrôle thermique).

C'est un cas typique d'instabilité dynamique due à la dissipation d'énergie : le satellite ne tournait pas autour de son axe de plus grande inertie et était donc dans une configuration instable. Les mouvements de liquide dissipant de l'énergie ont provoqué le « basculement » du satellite vers une configuration stable à savoir la rotation autour de l'axe de plus grande inertie, le moment cinétique étant conservé tant en module qu'en direction ; c'est ce que les spécialistes appellent le « passage en flat spin ».

[25] Rappelons que le principe des propulseurs chimiques utilisés à cette fin consiste à générer des gaz à haute température à partir d'ergols stockés sous pression donc à l'état liquide (peroxyde d'azote-UDMH, hydrogène-oxygène, hydrazine,...).

[26] Pour la mise et le maintien à poste des satellites géostationnaires, voir EI, n° 16, p. 16; pour les satellites héliosynchrones, voir EI, n° 20, p. 19.



Coupe transversale (à gauche) et longitudinale (à droite) du réservoir à contention capillaire du système propulsif du module orbital de la sonde américaine Viking. (Doc. CNES)

d'autant plus ardue qu'il peut, en outre, exister des mouvements perturbateurs, des oscillations, des ballottements du liquide en raison d'interactions avec les mouvements propres du véhicule spatial : vibrations, accélérations, rotations,...

L'alimentation de l'orifice de puisage étant assurée par un dispositif adéquat, l'expulsion des liquides vers les propulseurs se fera grâce à la pressurisation du réservoir (un gaz étant lui-même stocké à cet effet dans le réservoir d'ergol). Pour des raisons d'optimisation, les réservoirs ont une forme souvent proche de la sphère.

Quant au moyen d'assurer la présence de l'ergol près de l'orifice de puisage, différentes solutions technologiques ont été trouvées.

Par exemple, dans le cas des satellites géostationnaires *spinnés* (stabilisés par rotation rapide sur eux-mêmes), on peut utiliser l'effet centrifuge pour assurer l'alimentation en ergol (c'est le cas retenu pour les satellites européens Météosat).

Pour les satellites à stabilisation trois axes, on peut utiliser des réservoirs dotés d'une paroi mobile (membrane ou soufflet) qui permet d'isoler le gaz du liquide lequel sera chassé vers les propulseurs (les deux satellites Symphonie sont équipés d'un dispositif de ce type à soufflet métallique).

Autres exemples, les satellites européens OTS et le satellite français

[27] Le principe de la *contention capillaire* consiste à maintenir un liquide au sein d'un réservoir grâce à l'existence de forces de surface entre ce liquide et les parois du réservoir. Ces mêmes forces sont également utilisées pour acheminer le liquide vers l'orifice de soutirage.

Télécom-1 (à lancer en 1984) sont dotés de membranes en élastomère.

Toutefois, les dispositifs le plus ingénieux sont sans doute ceux du type à *contention capillaire* [27] dont les premiers modèles ont été mis au point aux États-Unis au début des années soixante. Différentes variantes ont été réalisées selon le pays et les programmes.

Leur fonctionnement repose sur la présence, au sein du réservoir, d'un dispositif collecteur de liquide (en liaison avec l'orifice de vidange) constitué d'un ensemble de toiles ou de parois métalliques (percées ou non) et de tubes de faible section — reliés entre eux — qui crée un réseau dense de structures que le liquide, du fait des forces superficielles, va investir. Dans ces conditions, on est en mesure d'assurer l'alimentation des propulseurs en permanence tout au long de la mission.

Par le passé, les sondes américaines Mariner-9 et les satellites Intelsat-5 — pour ne citer qu'eux — ont été équipés de tels réservoirs. Du côté français, les satellites SPOT-1 et TDF-1 (à lancer en 1985) utiliseront aussi ce type de réservoir à contention.

Jean-Pierre Penot,
CNES, Toulouse.

J'exprime toute ma gratitude aux personnes qui ont accepté de relire la première version de ce texte et l'ont enrichi de leurs remarques souvent judicieuses. Certaines d'entre elles avaient déjà contribué à la mise au point de l'article sur la gravitation publié dans le dernier numéro de notre revue.

Il s'agit en particulier de chercheurs (D' A. Guell, CHU Toulouse Rangueil; Y. Malméjac, Laboratoire d'étude de la solidification du Commissariat à l'énergie atomique, Grenoble; P^r H. Planel, Faculté de médecine de Toulouse Purpan; P. Teyssandier, Laboratoire de physique théorique de l'Institut Henri-Poincaré, Paris), d'enseignants en sciences physiques (M. et J. Chatroux, académie d'Aix-Marseille; B. Cuny, académie de Nancy-Metz; M. Durant, académie de Montpellier; M. Eveno, académie de Nantes; J.-C. Herpin, académie de Paris; A.-M. Louis, académie de Versailles; A. Picavet, académie de Lille) et de membres d'organismes spatiaux (P. Baudry, CNES/Toulouse; J. Cacheux, CNES/Toulouse; A. de Leffe, CNES/Toulouse; J.-M. Guilbert, CNES/Toulouse; P. Pesenti, CNES/Paris; J.-L. Pieplu, CNES/Toulouse; G. Seibert, ESA/Paris; M. Vieillefosse, CNES/Toulouse).

Eumetsat, Exosat, Pioneer-10,...

France

L'expérience franco-soviétique UFT

L'Union soviétique a procédé, le mercredi 23 mars 1983, au lancement d'un satellite d'astronomie, Astron, porteur de l'expérience franco-soviétique UFT qui a pour but de recueillir de nouvelles données d'astrophysique dans le domaine de l'ultraviolet: formation des étoiles, évolution, variabilité, pertes de masse, composition chimique, étude des noyaux actifs des galaxies compactes et du fond diffus.

Cette expérience a été conçue par le Laboratoire d'astronomie spatiale (LAS) du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) de Marseille et l'Observatoire de Crimée en URSS.

La charge utile scientifique est constituée d'un télescope de 5 m de long et de 80 cm de diamètre, ayant une distance focale de 8 m, auquel est associé un spectromètre de fabrication française (société Matra, société Crouzet, LAS) à haute résolution spectrale (0,4 angström) permettant l'observation des astres en ultraviolet lointain entre 1150 et 3500 angströms de longueur d'onde.

D'une masse de 450 kg, l'ensemble instrumental est monté sur un véhicule de type Vénéra de 3,5 tonnes adapté à la mission.

L'orbite très elliptique du satellite Astron présente l'avantage d'un temps d'observation important en dehors des perturbations terrestres ou de celles provoquées par la ceinture de Van Allen. Les paramètres sont: apogée: 200 000 km, périégée: 2 000 km, révolution: 4 jours et 2 heures, inclinaison: 51,5°.

(...) La durée prévue d'utilisation de l'expérience est de un an. Elle se prolongera au-delà suivant la consommation en gaz pour le pointage des instruments qui résultera

du plan des observations scientifiques retenu.

Décidée en 1979, l'expérience UFT fait partie du programme d'astronomie (dans le cadre de la coopération spatiale) mis en œuvre par le Centre national d'études spatiales (CNES - France) et l'Académie des sciences de l'URSS (conseil Intercosmos).

C'est au début des années 70 que débutèrent les premiers travaux en astronomie (1974 pour l'astronomie UV). Plusieurs expériences ont déjà été réalisées (le programme Signe, Galactika sur satellites à orbite excentrique, Pronoz en 1977 et 1978) ou sont en cours de préparation (Gamma-1, Sigma).

(Source: Communiqué de presse du CNES, 25 mars 1983)

Europe

Création d'Eumetsat, organisation européenne de météorologie spatiale

Le 23 mars dernier, l'Agence spatiale européenne publiait le communiqué de presse suivant:

La deuxième session de la conférence intergouvernementale sur un programme météorologique européen opérationnel, qui s'est tenue au siège de l'Agence spatiale européenne du 21 au 23 mars 1983, vient de terminer ses travaux. Cette conférence, à laquelle ont assisté des délégations de dix-sept pays européens (les onze états membres de l'ESA [1], l'Autriche, la Finlande, la Grèce, la Norvège, le Portugal et la Turquie) est parvenue à un accord sur le programme proposé, prévu pour une durée de douze ans.

L'Europe a ainsi apporté la preuve qu'elle est prête à contribuer à la préservation du réseau mondial de satellites météorologiques qui fait partie intégrante du système d'observation globale. Ce programme

facilitera le travail des organismes météorologiques européens en leur permettant d'engager des actions en commun utilisant les technologies spatiales applicables à la recherche et à la prévision météorologiques et assurera la communication de données météorologiques aux pays d'Afrique et du Moyen-Orient.

L'importance des ressources humaines, techniques et financières nécessaires aux activités relevant du domaine spatial étant telle qu'elle dépasse les possibilités individuelles de chacun des pays européens, la conférence a approuvé la convention portant création d'une organisation internationale de dimension réduite à laquelle il sera donné le nom d'Eumetsat et qui fournira aux organismes météorologiques européens un cadre de coopération leur permettant d'exécuter le programme opérationnel.

Eumetsat aura pour objectif principal la mise en place, le maintien et l'exploitation de systèmes européens de satellites météorologiques opérationnels en tenant compte dans la mesure du possible des recommandations de l'Organisation météorologique mondiale.

La convention portant création d'Eumetsat sera soumise pour signature aux membres de la conférence des plénipotentiaires qui se tiendra dans la seconde moitié de mai 1983 [2].

En attendant l'entrée en vigueur de la convention d'Eumetsat et pour ne pas retarder le programme, celui-ci sera exécuté au cours de la période intérimaire dans le cadre des arrangements de l'ESA concernant les programmes facultatifs.

Après avoir mené à bien le programme Météosat préopérationnel,

[1] Belgique, Danemark, Espagne, France, Irlande, Italie, Pays-Bas, République fédérale d'Allemagne, Royaume-Uni, Suède, Suisse.

[2] Cette convention était signée le 24 mai à Genève, lors de la conférence des plénipotentiaires, par douze des pays réunis. Les engagements pris par les délégués couvraient alors plus de 80 % du financement global (dont 22 % pour la France). (Note de la rédaction)

l'ESA se voit aujourd'hui confier, dans le cadre de son programme opérationnel, les missions suivantes :

- l'approvisionnement de trois nouveaux véhicules spatiaux (MO1, 2 et 3) qui seront des versions améliorées du satellite Météosat pré-opérationnel ainsi qu'un jeu complet de pièces détachées qui pourraient être assemblées en une unité de vol dans le cas d'un échec de la mission de MO1 ou MO2;

- l'approvisionnement des lanceurs européens Ariane et les activités liées au lancement de ces trois unités de vol au cours des mois de mai 1987, août 1988 et novembre 1990;

- la poursuite de l'exploitation du système Météosat pré-opérationnel à partir de novembre 1983, date où prendront fin les dispositions actuelles de financement, jusqu'au lancement de MO1 en mai 1987;

- l'exploitation des trois véhicules spatiaux opérationnels de la mi-mai 1987 à la fin du programme en novembre 1995.

Une équipe de gestion sera constituée à l'ESA pour gérer ce nouveau programme qui doit démarrer en juin 1983.

Le coût global du programme s'élève à 400 MUC [3] au niveau de prix actuel.

(Source : communiqué de presse de l'ESA, 23 mars 1983)

Exosat sur orbite

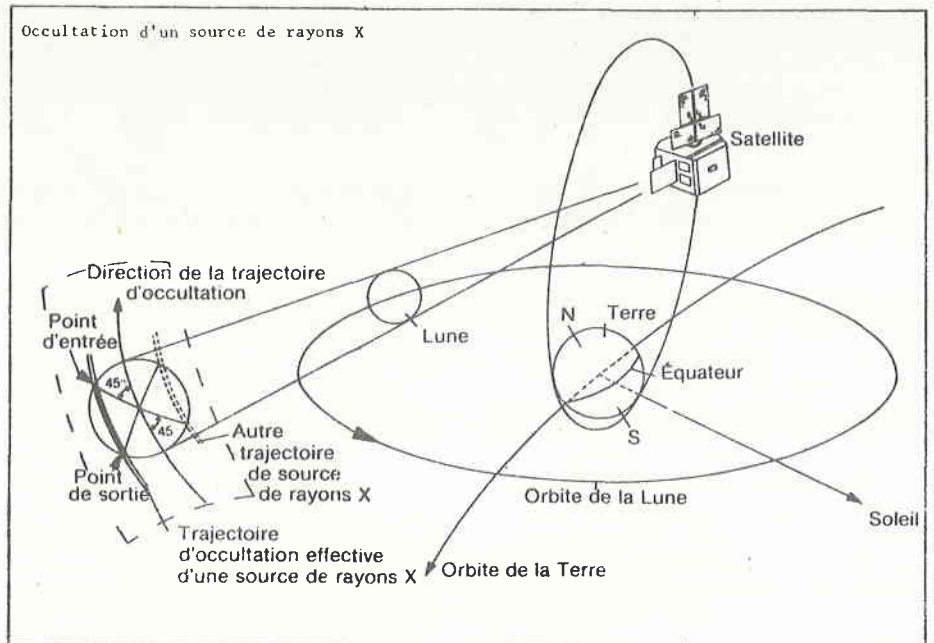
Exosat [4], le satellite européen d'observation du rayonnement X [5], a été lancé avec succès le 26 mai par un Delta 3914 et placé sur une orbite fortement excentrique dont l'apogée se situe à 191 000 km.

Cette orbite amène « l'observatoire » à graviter dans l'espace interplanétaire, hors des perturbations causées par les ceintures de rayonnements qui entourent la Terre et permet à la station sol de Villafranca (Espagne) d'en recueillir les données en temps réel pendant environ 80 heures sans interruption sur les 91 heures de la période orbitale.

[3] MUC : Million d'Unités de Compte. Une unité de compte correspond approximativement à un dollar des États-Unis au taux de change de 1983.

[4] Exosat : European X-ray Observatory SATellite. C'est en février 1983 (voir EI, n° 25, p. 31) que le Conseil de l'ESA avait décidé d'utiliser un lanceur américain Delta 3914, à trois étages, en raison du retard du programme Ariane. (Note de la rédaction)

[5] Dans la gamme des énergies comprises entre 0,04 et 80 keV. (Note de la rédaction)



Principe de la méthode d'occultation des sources de rayons X par la Lune utilisée par le satellite Exosat. (Doc. ESA)

Le lancement effectué, les sous-systèmes du satellite ont fonctionné normalement. Le satellite, stabilisé par inertie selon trois axes, est capable de maintenir la direction de pointage de ses instruments scientifiques avec une stabilité de $\pm 1,5$ seconde d'arc (soit environ un deux millièmes de degré) et d'acquérir les cibles à étudier avec une précision meilleure qu'une minute d'arc (soit environ un centième de degré).

Les instruments scientifiques, qui se composent de deux télescopes imageurs, d'un compteur proportionnel de grande surface et d'un spectromètre à scintillation gazeuse, ayant des champs de vision de l'ordre d'un degré, contiennent 21 détecteurs de rayons X pouvant être commandés de façon indépendante. Tous ces détecteurs ont maintenant été testés en orbite et, à l'exception de l'un d'eux, associé à l'un des télescopes, ils fonctionnent parfaitement.

On a constaté que le « bruit de fond » dû pour une large part au rayonnement cosmique, qui affecte les détecteurs et, par voie de conséquence, l'observation des rayons X intéressants, est beaucoup moins important que prévu dans les compteurs proportionnels et les compteurs à scintillation, ce qui signifie que la sensibilité d'Exosat sera notablement accrue, en d'autres termes, il pourra « voir » à de plus grandes distances et observer des objets de plus faible luminosité.

Un programme d'étalonnage en orbite des instruments et de vérification de leurs performances a été mis en route le 17 juin. Pour l'étalonnage des instruments et la vérification des performances définies lors des essais au sol avant le lancement, on utilise comme « sources normalisées » des sources de rayons X étudiées en détail par de précédents satellites d'observation du rayonnement X.

Exosat devrait commencer son programme d'observation au début du mois d'août. Les moyens disponibles au Centre des opérations de l'ESOC, à Darmstadt, permettront d'utiliser Exosat comme un observatoire au même titre, par exemple, qu'un télescope optique basé au sol avec cette différence que le télescope se trouvera en l'occurrence à des milliers de kilomètres dans l'espace. Des scientifiques provenant du monde entier pourront, si leurs propositions sont retenues, procéder à des observations. Exosat, programme dont le coût total se chiffre à 170 millions de dollars environ, doit être exploité pendant un maximum de quatre années. Ses instruments étudieront les émissions de rayons X provenant d'objets cosmiques de tous types allant des étoiles proches du Soleil, des systèmes binaires, des vestiges de supernova et des mystérieux « trous noirs » de notre galaxie et des galaxies proches aux quasars d'une puissance colossale qui se situent à la limite de l'univers observable.

Exosat vient s'ajouter à deux autres observatoires spatiaux auxquels l'Europe est étroitement associée : IUE, le satellite international d'exploration dans l'ultraviolet, lancé en 1978, et IRAS, le satellite d'astronomie dans l'infrarouge, lancé au début de cette année. En observant le ciel à des longueurs d'ondes que l'absorption atmosphérique rend inaccessibles aux télescopes basés au sol, il sera possible de déterminer la véritable nature des objets célestes sur toute la largeur du spectre électromagnétique.

(Source : ESA newsletter, n° 2, juillet 1982, p. 2)

Succès pour L6

Le sixième exemplaire de la fusée européenne Ariane a été lancé, avec succès, le **jeudi 16 juin 1983** à 11 h 59 mn 3 s (TU) depuis le Centre spatial guyanais au terme d'une chronologie parfaite.

Un peu plus d'un quart d'heure après son décollage, le lanceur réussissait l'injection sur l'orbite de transfert de sa charge utile composée de :

- **ECS-1**, premier satellite géostationnaire européen de télécommunications;

- **Oscar-10** (alias Amsat-P3B), pour les radio-amateurs.

(Rappelons que le système Sylda, utilisé pour la première fois avec succès lors de ce lancement, permet d'installer deux engins sous la coiffe d'Ariane.)

Le satellite ECS-1

Placé sur une orbite de transfert, **ECS-1** faisait l'objet de diverses manœuvres (mise à feu du moteur d'apogée, le 18 juin, etc.) selon une procédure aujourd'hui classique en vue de l'amener à sa position opérationnelle (par 10° Est) qu'il atteignait au début juillet. On prévoyait alors de le « remettre » deux mois plus tard à Eutelsat [6] pour commencer sa carrière opérationnelle.

[6] Eutelsat, organisation européenne de télécommunications par satellite, a été créée le 30 juin 1977 sous une forme provisoire en vertu d'accords signés par 17 administrations ou entités de télécommunications reconnues, membres de la **Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (CEPT)**. Son objectif est de mettre en place et d'exploiter un système régional européen de télécommunications par satellite.

La convention et l'accord d'exploitation Eutelsat adoptés en mai 1982 doivent entrer en vigueur le 15 janvier 1984 après signature par les gouvernements et leur ratification par les parlements des pays membres. L'organisation, dont le siège est à Paris, compte actuellement vingt membres.

Le véhicule spatial a été réalisé par le consortium industriel européen MESH qui regroupe trente-six grandes firmes réparties dans onze pays et dont le chef de file est British Aerospace, maître-d'œuvre de ECS.

Le système ECS fonctionnera dans les bandes de fréquences de 11 à 14 GHz. Il assurera essentiellement quatre sortes de services : des liaisons téléphoniques entre les pays membres de la CEPT, l'échange de programmes de télévision entre les organisations membres de l'Union européenne de radiodiffusion (UER), des services de location de répéteurs, principalement pour la distribution de programmes de télévision aux réseaux câblés, et des services

spéciaux de télécommunications pour les milieux d'affaires (services multiples). Ce dernier type de services exige toutefois deux répéteurs supplémentaires qui ne seront installés à bord qu'à partir de la deuxième unité de vol. (...)

La couverture du système s'étendra de l'Islande au Proche-Orient et de la Finlande aux Açores. Elle englobera également l'Afrique du Nord.

Pour les services de téléphonie et d'échange de programmes de télévision, le réseau comprendra initialement une grande station terrienne par pays. Pour les autres services, on pense qu'un grand nombre de stations de taille relativement réduite seront installées dans toute l'Europe et que la plupart d'entre elles se situeront chez les utilisateurs eux-mêmes ou à proximité.

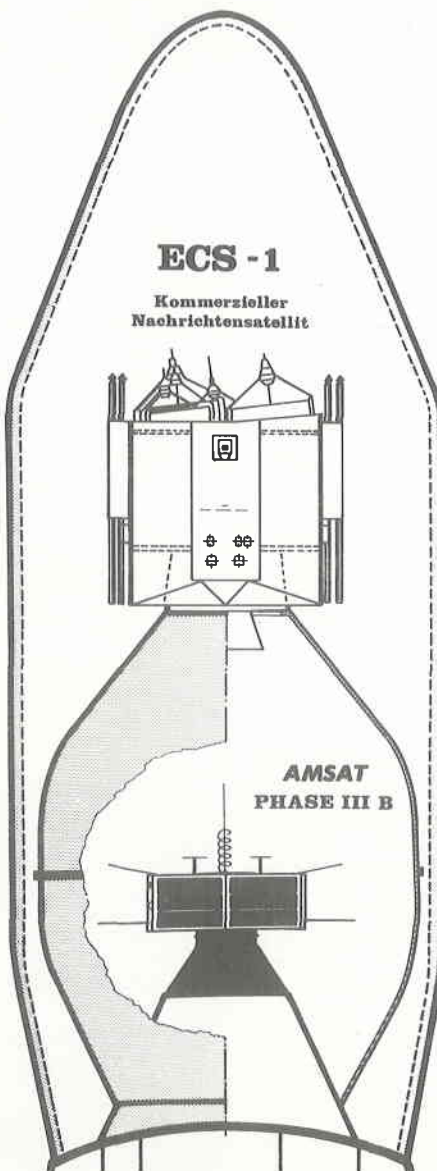
Le lancement du deuxième satellite de la série est actuellement prévu pour mai 1984 au moyen d'une version plus puissante du lanceur européen, Ariane III. Cette unité complétera le système ECS à deux satellites conçu pour la fourniture des services ci-dessus.

Le satellite Oscar-10

C'est à la fin juillet que le satellite **Oscar-10** gagnait son orbite opérationnelle (3 950/35 500 km; 25,9°; ≈ 700 mn; orbite prévue : 1 500/35 800 km et 55°), la mise à feu du moteur d'apogée ayant eu lieu dans la nuit du 11 juillet, à 22 h 32 mn (TU).

Cette mise à feu avait été retardée d'environ trois semaines car, après la séparation, l'orientation et la vitesse de rotation du satellite n'étaient pas celles prévues. D'après les enquêtes menées par les autorités compétentes chargées respectivement du lanceur et du satellite, la séparation du satellite s'est en fait au départ effectuée correctement mais, selon toute probabilité, le troisième étage a rattrapé le satellite après la séparation [7]. Heureusement, le satellite n'a pas été endommagé, hormis une de ses antennes qui ne sert que pour les premières opérations en orbite; cependant, son orientation et sa vitesse de rotation ont été fortement perturbées.

(suite en page 26)



Vue en coupe de la coiffe Ariane pour le lancement L6. Sous le satellite ECS-1 on reconnaît la structure du Sylda (voir El. n° 17, pp. 12 et 16) qui autorise la mise sur orbite de deux satellites à l'aide d'un seul lanceur. (Doc. ESA)

[7] La raison en est probablement que la poussée résiduelle résultant du dégazage du réservoir d'oxygène liquide du troisième étage a été plus forte que prévu. Ce genre d'incident pourra être évité lors des lancements futurs.

Les radio-amateurs et l'espace

Sur l'ensemble de la population mondiale, riche de plus de quatre milliards d'individus, on compte environ un million de radio-amateurs (dix mille en France) dont deux cent mille sont considérés comme actifs, parmi lesquels dix mille utilisent les liaisons par satellite.

Historique succinct

L'idée de mettre un satellite à la disposition des radio-amateurs a été proposée peu de temps après le lancement du premier Spoutnik (1957). Quelques années plus tard, le projet, baptisé Oscar [*] (Orbital Satellite Carrying Amateur Radio), arrive à maturité avec le lancement, le 12 décembre 1961, du premier satellite Oscar par une fusée américaine Thor Agena, en même temps que Discoverer-36.

Équipé d'une simple balise de 145 MHz, le satellite (masse : 6,8 kg) émettait les deux lettres « HI » qui correspondent dans le langage des radio-amateurs au rire. L'expérience était couronnée de succès et, malgré la brève durée de vie du satellite (environ 18 jours), elle avait prouvé aux radio-amateurs l'intérêt des télécommunications spatiales.

Après Oscar-2, en juin 1962, Oscar-3 lancé en mars 1965 ouvre aux radio-amateurs la voie des liaisons spatiales par satellite. La conception de ce troisième satellite est déjà plus complexe : Oscar-3 est doté d'un répéteur (relais de télécommunications) qui permet d'établir les premières liaisons bilatérales entre radio-amateurs : 176 contacts furent réalisés par 98 correspondants et plus de 1 000 confirmations de réception ont été échangées.

Une grande première est réalisée avec le satellite Oscar-4, lancé le 22 décembre 1965 : équipé d'un répéteur aux fréquences plus élevées (432/145 MHz), le satellite permet d'établir pour la première fois, durant ses quelques heures de vie, un contact radio-amateur entre les États-Unis et l'Union soviétique.

À la fin des années soixante, il est convenu, compte tenu des perspectives offertes par les satellites de la série Oscar, de créer une association pour soutenir au niveau international les efforts des radio-amateurs : c'est la naissance de l'organisation Amsat qui trouvera très rapidement des ramifications dans presque tous les pays du monde.

Le satellite australien Oscar-5 est né de cette coopération internationale. Construit par l'université de Melbourne, il a été lancé le 23 janvier 1970. Équipé de balises de 146 MHz/28 MHz, il devait permettre d'étudier les effets des taches solaires sur l'ionosphère et la fiabilité du système de télécommunications construit par des amateurs. Oscar-5 clôturait la phase 1 des satellites de radio-amateurs, satellites à brève durée de vie.

En 1971, l'Union internationale des télécommunications reconnaît le service amateur par satellite.

Avec la deuxième génération, trois satellites à longue durée de vie vont être mis en orbite. Oscar-6, lancé en octobre 1972 va décrire jusqu'en juin 1977 quelque 22 000 révolutions autour de la Terre. Oscar-7 fut lancé en novembre 1974 et Oscar-8, lancé le 5 mars 1978, est toujours en service. Les trois satellites de cette seconde génération gravitent sur des orbites basses.

L'année 1978 voit le lancement des premiers satellites soviétiques pour les radio-amateurs, RS-1 et RS-2, sous les auspices de la Fédération des sports radio d'Union soviétique.



Vue d'une station radio-amateur (Photo F8YY de Toulouse)

Puis en 1980, c'est une troisième génération de satellites qui apparaît : ils seront dotés d'un moteur qui leur permettra d'atteindre des orbites à plus haute altitude, définies par les radio-amateurs. Ils offriront une disponibilité très supérieure. Un premier exemplaire (Amsat-Phase IIIA) est perdu lors de l'échec du deuxième lancement d'Ariane, le 23 mai 1980.

Au cours de l'année 1981 sont lancés :

— le satellite radio-amateur (Iosat, alias Oscar-9, construit par l'université du Surrey (Royaume-Uni). En dépit de quelques incidents, ce satellite continue à fonctionner de façon satisfaisante en envoyant aux radio-amateurs et aux écoles des images et des messages enregistrés.

— les satellites soviétiques RS-3, RS-4, ..., RS-8 mis sur orbite basse à l'aide d'un seul lanceur.

En 1982, depuis la station spatiale Saliout-7, les Soviétiques mettent sur orbite Iskra-2 et Iskra-3 également pour les radio-amateurs.

Enfin, la réussite des opérations de lancement d'Ariane (L6), en juin 1983, permet à un deuxième exemplaire de cette troisième génération de satellites radio-amateurs, Amsat-Phase IIIB, satellite de l'organisation Amsat-Allemagne, de devenir opérationnel sous le nom d'Oscar-10.

Le radio-amateurisme réalisateur de satellites

Les 3 et 4 octobre 1982 s'est tenue, à Paris, à l'initiative des radio-amateurs français du RACE (voir plus loin), une réunion à laquelle étaient conviés pour la première fois tous les groupes réalisateurs de satellite radio-amateur de par le monde.

L'Amsat (radio AMateur SATellite corporation) a été fondée en 1969 et son siège est aux États-Unis. C'est une organisation dont les sections sont implantées dans beaucoup de pays industrialisés.

Ainsi, la troisième génération des satellites Oscar est un programme de la section d'Allemagne fédérale de l'organisation Amsat.

La réalisation du satellite Oscar-10 a été totalement conduite par Amsat-Allemagne. La plus grande partie de ses équipements a été fournie par des radio-amateurs allemands. À noter, pour ce satellite, la contribution des sections américaine, japonaise et hongroise.

[*] Les satellites réalisés par Amsat prennent le nom d'Oscar lorsqu'ils deviennent opérationnels. Le satellite perdu lors de l'échec du lancement d'Ariane aurait dû s'appeler Oscar-9, s'il était devenu opérationnel. Ce fut donc Iosat, le satellite radio-amateur britannique, qui reçut cette immatriculation.

(suite en page 25)

(suite de la page 24)

Les ressources de l'Amsat proviennent essentiellement des cotisations versées par ses membres et des contributions allouées par différentes sociétés de radio-amateurs. Il s'y ajoute le soutien technique et financier de nombreuses universités. L'Amsat fait peu appel au concours industriel.

La **Fédération des sports radio d'Union soviétique** a une activité importante et travaille en coopération avec les étudiants des universités.

Le **RACE** (Radio-Amateur Club de l'Espace), fondé en août 1979, s'est donné pour objectif la réalisation en France d'un satellite radio-amateur de la troisième génération devant être mis sur orbite en tant que passager complémentaire lors d'un lancement Ariane.

C'est une association type loi 1901 dont les ressources proviennent des cotisations des membres et de dons.

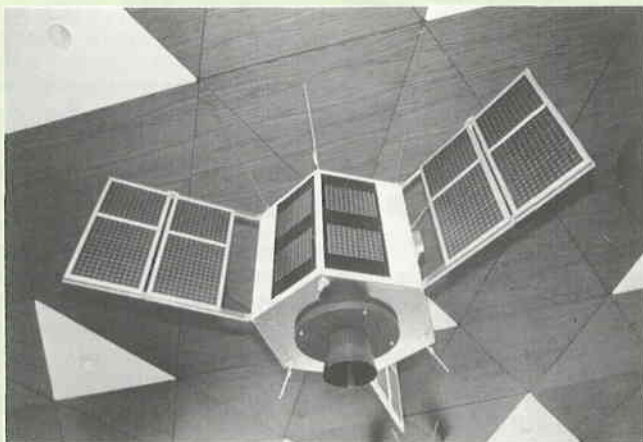
Le RACE travaille en étroite collaboration avec les établissements d'enseignement en France et, au contraire de l'Amsat, s'appuie fortement sur l'industrie. En effet, le programme Arsène non seulement consiste à mettre sur orbite le premier satellite radio-amateur élaboré en France, mais encore constitue dans les phases d'étude et de réalisation un soutien important à l'enseignement des techniques spatiales dans notre pays. Le projet Arsène est mené de la manière la plus voisine possible d'un programme industriel. De ce fait, il favorise de nombreux contacts entre l'enseignement et l'industrie.

Les différents groupes de radio-amateurs impliqués dans les réalisations spatiales se sont organisés en fonction des conditions particulières aux divers pays. Il faut souligner l'extrême qualité des relations qu'entretiennent ces différents groupes dans la meilleure tradition du radio-amateurisme.

Arsène, un projet français

En 1979, quelques radio-amateurs du CNES décident de prendre une part active aux activités spatiales radio-amateurs : ils établissent de nombreux contacts, commencent à travailler, créent le RACE (Radio-Amateur Club de l'Espace) et démarrent le **premier programme français de satellite** en ce domaine qu'ils baptisent Arsène (Ariane Radio-amateur Satellite pour l'ENseignement de l'Espace).

Son lancement est prévu pour la fin de l'année 1985, sur le vol de démonstration d'Ariane IV, aux côtés de trois autres satellites. La solution d'embarquement entièrement nouvelle

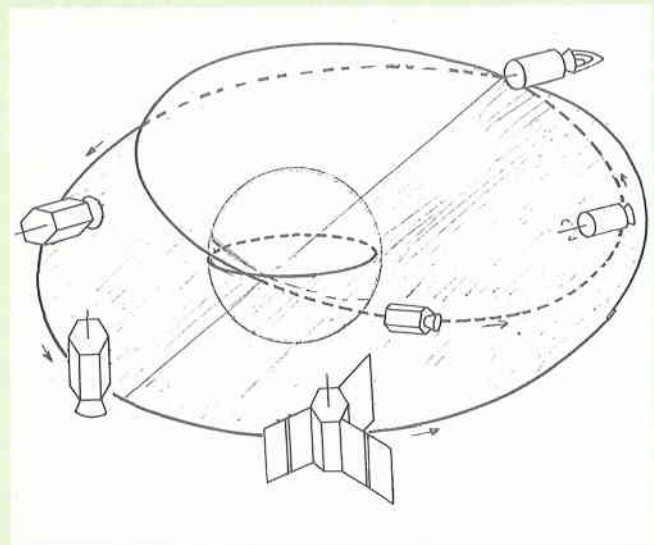


Maquette du futur satellite français Arsène qui servira aux radio-amateurs du monde entier (Doc. CNES)

retenue pour Arsène ouvrira la voie à d'autres futurs passagers complémentaires d'Ariane; c'est l'un des aspects les plus importants de la mission.

Ses caractéristiques techniques : masse ≈ 110 kg; orbite équatoriale : 20 000/36 000 km; période : 17 h 30 mn; stabilisation par rotation; durée de vie : 5 ans maximum.

Sa mission en vol concerne d'abord les télécommunications : il s'agit donc d'un satellite relais. Les liaisons dans le sens Terre/satellite s'effectueront dans la bande 435 MHz (UHF). Les liaisons dans le sens satellite/Terre s'effectueront alternativement dans la bande 145 MHz (VHF) et dans la bande 2445 MHz, dont l'utilisation constitue une première mondiale.



Quelques-unes des opérations qui permettront au satellite Arsène de gagner son orbite définitive à partir de l'orbite de transfert sur laquelle l'aura placé le lanceur Ariane. (Doc. CNES)

Enfin, il faut mentionner également la présence de thèmes d'expérimentation scientifiques et technologiques à bord. Ainsi le but du programme Arsène est double :

- mettre à la disposition de la communauté mondiale des radio-amateurs un **nouveau satellite** à grande durée de vie et d'orbite élevée (donc de la troisième génération);
- contribuer à l'**effort d'éducation dans le domaine spatial** (c'est une des grandes originalités du projet Arsène).

L'enseignement de l'espace par Arsène

Arsène est destiné à enseigner les techniques spatiales à plusieurs catégories de personnes.

★ Déjà, durant la phase d'avant-projet, de nombreux étudiants ont pris comme thème la préétude de divers organes du satellite. Ils ont ainsi pu œuvrer sur un problème entièrement réaliste et participer à un projet analogue à ceux qu'ils rencontreront dans leur carrière professionnelle. Plusieurs d'entre eux ont vu leurs travaux récompensés par des distinctions de caractère international. Tous ont trouvé aussitôt des emplois dans l'industrie.

★ Divers radio-amateurs se préoccupent dès maintenant d'affiner les télécommunications numériques qui seront utilisées dans le monde entier par eux-mêmes et leurs collègues, lors des liaisons bilatérales que permettra le satellite. Leurs conclusions seront diffusées dans la communauté mondiale des radio-amateurs et dans la profession.

(suite en page 26)

Les radio-amateurs et l'espace (suite)

(suite de la page 25)

★ La pratique des communications spatiales avec le satellite en orbite familiarisera un très grand nombre de radio-amateurs avec ces techniques :

— usage de matériels performants (souvent construits par l'amateur lui-même ou l'un de ses collègues);

— maîtrise des particularités du trafic par satellite : pointage d'aériens, poursuite (automatique ou non) de la fréquence (neutralisation de l'effet Doppler), partage du canal existant entre une multitude d'usagers;

— expérimentation des méthodes de communication numérique, y compris celle du « spectre étalé »; ceci soit chez des amateurs individuels, soit collectivement dans les radio-clubs où de nombreux expérimentateurs peuvent participer.

★ Les écoles d'ingénieurs et de techniciens disposeront avec Arsène d'un support de travaux pratiques à caractère technique en « vraie grandeur » et non dans les limites de laboratoires, l'expérience ainsi acquise pourra déboucher sur des thèses de doctorat ou du 3^e cycle.

★ Des expériences scientifiques organisées et gérées par des laboratoires universitaires et des clubs de jeunes seront embarquées par Arsène.

Dès maintenant ceci a permis des rapprochements entre les radio-amateurs, les concepteurs d'Arsène, les écoles et les établissements scientifiques, favorisant ainsi une fertilisation croisée des approches et des compétences.

Ainsi Arsène participe à la mission d'éducation que le CNES cherche à développer en France.

Que faut-il pour mener à bien ce programme ?

- définir et réaliser le satellite proprement dit;
- définir et réaliser le propulseur Mars (pour la manœuvre de changement d'orbite);
- définir et réaliser la station terrienne de contrôle « Stela ».

Comment participer au projet ?

A ce jour dix-sept établissements allant des écoles d'ingénieurs aux écoles professionnelles, une centaine d'étudiants et cent cinquante radio-amateurs ont travaillé ou travaillent sur ce programme.

Le satellite et ses missions sont définis (7 000 pages de calculs). Deux Médailles d'or aux concours mondiaux d'étudiants du secteur astronautique (Tokyo 1980, Rome 1981), ont montré aux jurys internationaux de spécialistes la qualité des travaux entrepris sur les thèmes offerts par le projet Arsène.

Le haut patronage de la présidence de la République, un soutien actif du CNES et une participation importante des écoles, dont l'École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace, ainsi que l'indispensable concours des industriels de l'aéronautique et de l'électronique sont garants du succès.

Le concours des établissements d'enseignement technique de toutes catégories est essentiel, dans l'intérêt du projet qui entre en phase de réalisation, et au bénéfice des écoles dont les étudiants ont aussi l'occasion de participer concrètement à l'élaboration d'un satellite. Les thèmes dégagés autour d'un tel sujet sont fort nombreux et le projet Arsène sera attentif à toute idée de collaboration.

Tout ce programme est entièrement basé sur le bénévolat. Les ressources sont constituées jusqu'à maintenant de dons de matériels résiduels de programmes spatiaux antérieurs, de soutiens logistiques (locaux, téléphone, etc.), ainsi que de la cotisation des membres du RACE.

Des participations financières deviennent nécessaires, elles peuvent prendre toutes les formes, suivant les statuts de l'association : mécénat, subventions, dons, affectation de la taxe d'apprentissage auprès des écoles participantes,...

Pour tout enseignement complémentaire ou pour recevoir une **documentation descriptive**, écrire au siège social du RACE, 8, avenue Aristide-Briand, 78400 Chatou, (CCP : Toulouse 35.71.46.11).

Michel Danvel, projet Arsène.

(suite de la page 23)

L'exploitation opérationnelle d'Oscar-10 devait commencer dans la première quinzaine du mois d'août.

Le satellite (...) Oscar-10 [est] destiné à permettre les communications entre radio-amateurs; il assure un service public et contribue à la recherche scientifique.

Ses objectifs sont les suivants :

— constituer un outil éducatif permettant à des étudiants de se familiariser très simplement avec les techniques et les télécommunications spatiales;

— mettre en place des réseaux de télécommunications de secours pendant des périodes prolongées et couvrant une grande partie de la Terre à partir d'équipements simples et bon marché;

— étudier l'aspect technologique d'un répéteur à accès multiple, ainsi que les procédures opérationnelles

par la technique de l'accès multiple par répartition en fréquences (AMRF);

— évaluer l'efficacité d'une orbite fortement excentrée pour des communications point à point à longues distances;

— démontrer la possibilité pratique de l'utilisation d'un microprocesseur embarqué, chargé de gérer et de surveiller le fonctionnement du satellite.

Principales caractéristiques de Oscar-10 : masse sur orbite : 90 kg; hauteur : 43 cm; envergure : 1,26 m; puissance : 40 W en début de vie et 25 W en fin de vie (3 ans).

Dernière minute : en raison de contrôles réclamés par l'organisation Intelsat pour son satellite Intelsat V(F7), le septième lancement d'Ariane (L7), initialement prévu pour le 16 septembre, n'aura pas lieu avant le 18 octobre.

Le lancement suivant (L8), avec le satellite Intelsat V(F8), devrait se

dérouler durant le mois de décembre 1983.

(Sources : communiqué de presse ESA du 12 juillet 1983, pour ECS; communiqué de presse ESA/Amsat du 22 juillet 1983 et dossier de presse CNES/Ariane L6 de juin 1983, pour Oscar-10.)

Reste du monde

Deux sondes vers Vénus

Deux nouvelles sondes spatiales se dirigent vers Vénus : **Vénéra-15** et **16** ont été lancées les 2 et 7 juin 1983 par l'Union soviétique qui compte ainsi poursuivre ses recherches scientifiques concernant le sol et l'atmosphère de la planète Vénus qu'elles devraient atteindre au début du mois d'octobre après un voyage d'environ 300 millions de kilomètres.

Pioneer-10 a quitté le système solaire

Le 13 juin 1983, la sonde spatiale américaine Pioneer-10 « franchissait » l'orbite de la planète Neptune, à plus de 4,52 milliards de kilomètres du Soleil : pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, un engin fabriqué par l'Homme passait la frontière de ce qu'on a coutume d'appeler le système solaire [8], l'ensemble des planètes gravitant autour du Soleil.

(Précisons que la planète Pluton, généralement considérée comme la plus éloignée du Soleil, se trouve actuellement — et pour dix-sept ans encore — à l'intérieur de l'orbite de Neptune en raison de l'excentricité de sa trajectoire qui l'amène à se trouver tantôt au-delà, tantôt en deçà de Neptune.)

Cette sonde avait été lancée onze ans plus tôt, exactement le 3 mars 1972 (voir EI, n° 12, p. 11) avec pour objectif principal la planète Jupiter. Comme aucun autre véhicule spatial ne s'était autant éloigné du centre du système solaire, elle allait accumuler les découvertes et les « premières » : première traversée de la ceinture d'astéroïdes, mise en évidence de la nature liquide du noyau de Jupiter, premier modèle du champ magnétique jovien (magnétosphère, ceintures de radiations), premières mesures précises de la masse et de la densité de certains satellites de Jupiter, premières photographies « rapprochées » de la tache Rouge et de l'atmosphère supérieure de Jupiter, etc. Naturellement il convient d'y ajouter une impressionnante moisson d'informations sur le milieu interplanétaire.

Les exploits de Pioneer-10 étaient réédités environ un an plus tard par sa « doublure », Pioneer-11, lancée le 6 avril 1973. Par leur mission pratiquement sans failles, les deux sondes contribuèrent à la découverte du système solaire et ouvrirent la voie aux sondes Voyager (voir EI, n° 19, p. 23 et n° 21, p. 23).

A la date du 13 juin 1983, Pioneer-10 avait parcouru près de six milliards de kilomètres, avait reçu plus de 98 900 ordres de télécommande de la Terre et transmis environ 126 milliards de bits de données scientifiques. Et elle fonctionnait

toujours ! En raison de son éloignement, il fallait 4 h et 20 mn à un signal radio pour couvrir la distance Terre/sonde. Et sa vitesse de déplacement, par rapport au Soleil, était de l'ordre de 50 000 km/h.

Qu'attend-on d'elle ? Qu'elle continue à transmettre des informations notamment sur le vent solaire et sur l'extension de l'héliosphère, cette sorte de cocon protecteur ménagé au sein du milieu interstellaire et qui contient le Soleil et son cortège de planètes (un peu à l'image de la magnétosphère terrestre; voir EI, n° 18, p. 4). Elle pourrait aussi peut-être aider à mettre en évidence ou bien une hypothétique « étoile noire », compagnon lointain et invisible de notre Soleil parfois invoqué pour rendre compte des perturbations orbitales d'Uranus et de Neptune ou bien encore une non moins hypothétique dixième planète...

Les experts du réseau *Deep Space Network* de la NASA espèrent pouvoir « converser » avec Pioneer-10 jusqu'à une distance de l'ordre de 8 milliards de kilomètres, soit pendant peut-être une dizaine d'années encore.

Ensuite ? La NASA pense que son passage « au plus près » d'un autre système stellaire pourrait survenir d'ici... 32 610 ans (!) ; elle se trouverait alors à 3,27 années-lumière (≈ 30 000 milliards de kilomètres) de l'étoile Ross 248. Compte tenu de ce qu'on connaît de la répartition des étoiles et de leurs trajectoires, on peut ensuite s'attendre à un « survol » de ce type au rythme d'une fois chaque million d'années...

(Sources : *NASA News*, n° 83-39, 22 mars 1983; *Aviation Week and Space Technology*, 2 mai 1983, p. 24.)

L'étonnante odyssée d'ISEE-3 !

A qui les aurait oubliées, la NASA est en train de rappeler les multiples ressources de la mécanique céleste... Un festival d'acrobaties cosmiques dont l'héroïne est la sonde américaine ISEE-3.

Tout commence le 12 août 1978 : ce jour-là est lancée ISEE-3 (International Sun-Earth Explorer) dans le cadre d'un programme spatial d'étude de l'environnement terrestre (voir EI, n° 18, p. 15). Tandis que ISEE-1 et 2 gravitent autour de la Terre, ISEE-3 devient le premier satellite artificiel à être placé en orbite près d'un point de Lagrange (où s'équilibrent les forces gravita-

tionnelles du Soleil et du couple Terre-Lune et la force d'inertie d'entraînement).

Décrivant une trajectoire elliptique autour de ce « point », elle n'en reste pas moins entre le Soleil et la Terre, à environ 1,5 million de kilomètres de celle-ci (voir EI, n° 14, p. 15). Et pendant toute la durée de sa mission (prévue initialement pour trois ans) ISEE-3 va donner entière satisfaction.

Son existence « active » aurait pu en rester là mais il en fut décidé autrement : on lui élaborait un second programme de travail comprenant, d'une part, l'exploration de la queue de la magnétosphère terrestre, d'autre part, l'étude de deux comètes (Giacobini-Zinner et Halley). Un programme de quatre années pour lequel elle doit quitter sa zone initiale d'évolution et entamer une longue migration dans l'espace, sans doute la plus originale succession de manœuvres orbitales jamais subies par un véhicule spatial. Donnons-en les principales étapes :

- **10 juin 1982** : ISEE-3 quitte le voisinage du point de Lagrange en décrivant une trajectoire complexe qui l'amène à graviter à l'intérieur de la queue magnétosphérique terrestre à compter du mois d'octobre 1982.

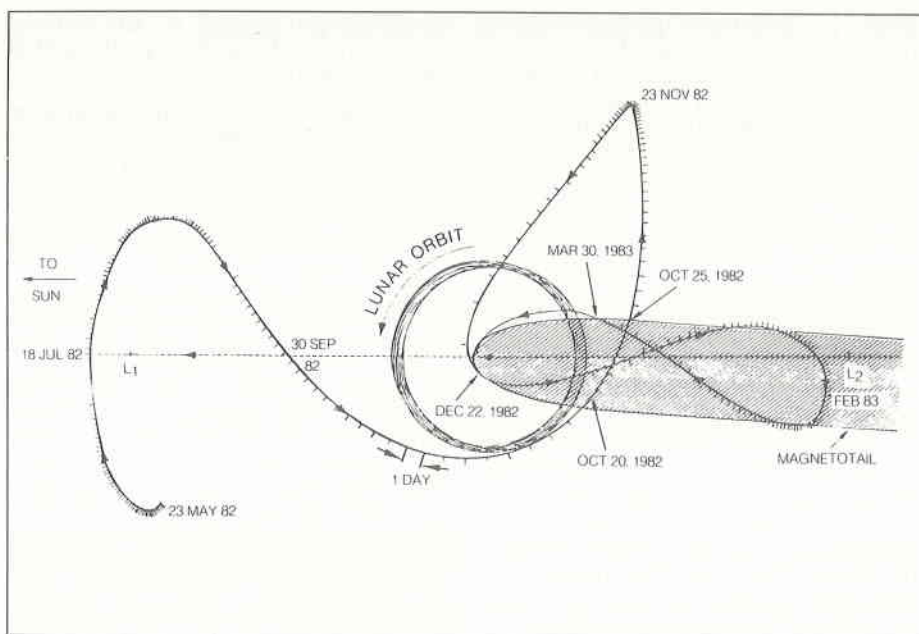
Durant la majeure partie de l'année 1983, elle explorera cette portion de l'espace et diverses manœuvres (en particulier le recours à l'assistance gravitationnelle de la Lune, ce qu'on appelle le *swing-by*; cf. EI, n° 12, p. 10) modifieront à plusieurs reprises sa trajectoire.

Pour ISEE-3, ce sera l'occasion d'étudier le plasma magnétosphérique (vitesse d'écoulement, densité, température, composition, frontières, etc.). Simultanément quatre autres satellites de la NASA (ISEE-1 et 2, DE-2 et IMP-8) seront associés à ce travail. Ultérieurement des comparaisons pourront être faites avec la queue des comètes, elle aussi constituée d'un plasma.

- **23 décembre 1983** : un cinquième *swing-by* lunaire, au cours duquel ISEE-3 passera à environ 100 km de la Lune, lui permettra de quitter le système Terre-Lune (en janvier 1984) et d'être dirigée vers la comète de Giacobini-Zinner [9].

- **11 septembre 1985** : ISEE-3 traverse la queue de cette comète à environ 3 000 km du noyau (la Terre est alors éloignée de 70,8 millions

[8] Il existe d'autres définitions des limites du système solaire; ce pourrait être, par exemple, la « frontière » fluctuante entre l'atmosphère solaire (l'héliosphère) et le gaz interplanétaire, à dix ou quinze milliards de kilomètres d'ici...



La trajectoire complexe de la sonde ISEE-3 depuis son orbite autour du point de Lagrange (L1) jusqu'à l'intérieur de la queue de la magnétosphère terrestre. Notre planète est symbolisée par le point noir au centre de l'orbite lunaire. (Doc. ESA)

(Sources : NASA News, n° 82-161, 28 octobre 1982; *Le déroutage d'un satellite*, La recherche, n° 142, mars 1983, pp. 374-375.)

Navette : septième mission

Le septième vol de la Navette spatiale américaine (STS-7) s'est déroulé du 18 au 24 juin 1983 : une mission qui a vu l'orbiteur Challenger se maintenir à environ 300 km du sol (inclinaison $\approx 29^\circ$, période $\approx 90,4$ mn).

Pour son second voyage dans l'espace, Challenger emportait **cinq astronautes** : Robert L. Crippen (46 ans), commandant de bord et Frederick H. Hauck (42 ans), pilote, accompagnés de trois spécialistes de la mission : John M. Fabian (44 ans), Sally K. Ride (32 ans) et le docteur Norman E. Thagard (40 ans).

Première astronaute américaine, Sally Ride devient ainsi la troisième femme de l'espace après les Soviétiques Valentina Tereshkova (1963) et Svetlana Savitskaya (1982). Physicienne spécialisée en astronomie, elle a également l'expérience du pilotage aérien, du parachutisme et de la plongée sous-marine. Elle est l'épouse... d'un astronaute, Steven A. Hawley, appelé à voler prochainement sur la Navette. Sally Ride est enfin l'un des plus jeunes sujets jamais envoyés dans l'espace.

(Selon la revue *Air et Cosmos* — 25 juin 1983, p. 61 — le salaire annuel de ces astronautes se situerait autour de 50 000 dollars soit de l'ordre de 400 000 F.)

Au programme de cette mission :

★ la mise sur orbite de deux satellites géostationnaires de télécommunications commerciales, **Anik C-2** (Canada) et **Palapa B-1** (Indonésie), engins similaires construits par la firme américaine Hughes Aircraft.

La satellisation s'est effectuée de la même façon que lors de la mission STS-5 (cf. El, n° 24, p. 25), c'est-à-dire avec l'aide d'un étage supérieur du type SSUS, le 18 juin pour le premier et le lendemain pour le second.

de kilomètres). Ce devrait être une grande première, jamais un engin spatial n'en ayant eu l'opportunité (ou l'audace?). Les instruments qu'elle emporte (précisons toutefois qu'il n'y a pas de caméra à bord) apporteront peut-être des éléments de réponse aux questions fondamentales qu'on se pose à propos des comètes : structure et composition du noyau ? mécanismes d'ionisation des substances éjectées ? interactions avec le vent solaire ?

Bien entendu, les États-Unis souhaitent rapprocher ces informations de résultats complémentaires qui pourraient être obtenus par des moyens spatiaux ou non (autres satellites, Space Telescope, IUE, Navette, fusées-sondes, avions, télescopes terrestres,...). Ces efforts pourraient donner naissance à une Année internationale Giacobini-Zinner à laquelle professionnels et amateurs du monde entier participeraient.

• De nouvelles manœuvres donneront à ISEE-3 la possibilité d'ob-

server la comète de Halley [10], à assez grande distance il est vrai : le **31 octobre 1985** (la sonde sera à 138,4 millions de kilomètres de la comète et à 76 millions de kilomètres de la Terre) et le **30 mars 1986** (la sonde sera à 30,5 millions de kilomètres de la comète et à 96,5 millions de kilomètres de la Terre). La comparaison des résultats obtenus sur deux comètes peut être riche d'enseignements.

A cette époque, d'autres sondes spatiales construites par l'Union soviétique, le Japon et l'Europe (Giotto; voir El, n° 19, p. 20) procéderont à une étude beaucoup plus rapprochée de la comète de Halley (par exemple Giotto passera à quelques centaines de kilomètres du noyau le 13 mars 1986). Aucune d'entre elles, toutefois, ne devant en traverser la queue.

Certains observateurs n'ont pas été sans constater qu'en dépit des restrictions budgétaires imposées à la NASA et de l'abandon du projet de sonde spatiale vers Halley, les États-Unis, en donnant une nouvelle jeunesse à ISEE-3, seront les premiers à étudier *in situ* une comète... Toutefois les premières images « rapprochées » d'une comète ne seront pas américaines.

• La mission d'ISEE-3 s'achèvera à la fin de 1987 : elle sera alors à 121 millions de kilomètres de nous et seules des « astuces » techniques permettront aux très faibles signaux émis par ses antennes (conçues pour fonctionner sur une distance 80 fois moindre) d'être encore perceptibles.

[9] La comète de Giacobini-Zinner est une comète plutôt âgée et relativement petite qui s'approche de nous tous les 13 ans. Observée depuis 1900, elle reste toujours à moins d'un milliard de kilomètres du Soleil.

[10] Comparativement à la comète de Giacobini-Zinner, la comète de Halley est plus jeune, plus volumineuse et se déplace plus rapidement : son noyau a le volume de Jupiter et sa queue s'étend sur une centaine de millions de kilomètres. Sa périodicité est de 76 ans.

Les comètes constituent des objets célestes assez mal connus (leur noyau serait composé de glace et de poussières avec quelques traces de molécules complexes) dans lesquels certains astronomes voient des « vestiges » des premiers âges de l'univers. Leur étude pourrait contribuer à une meilleure compréhension de son évolution et de celle du système solaire. A ce sujet, lire : **Les comètes**, par P. Véron et J.-C. Ribes, Hachette, 1979.

Quelques jours plus tard, ces satellites gagnaient leur emplacement définitif (respectivement 112,5° Ouest et 108° Est).

★ les premières manœuvres de libération et de récupération d'une charge utile par le **bras télémanipulateur** (de fabrication canadienne). Le 22 juin, la plate-forme spatiale **SPAS-01** (Shuttle PALlet Satellite), de fabrication allemande, est extraite de la soute, libérée dans l'espace et éloignée d'environ 300 m, puis récupérée environ quatre heures plus tard, puis de nouveau libérée et enfin récupérée définitivement. Il s'agissait de tester le comportement du bras et de vérifier les procédures de rendez-vous orbital en vue des prochaines missions de la Navette.

A cette occasion, la caméra installée sur SPAS a retransmis au sol les premières vues de la Navette en vol prises de l'extérieur.

★ la réalisation de plusieurs **expériences** à caractère scientifique ou technologique implantées ou bien sur SPAS-01 (expériences proposées par l'Allemagne de l'Ouest, l'ESA et la NASA) ou bien en divers endroits de l'orbiteur. Citons notamment la charge utile germano-

américaine **OSTA-2** (Office of Space and Terrestrial Applications de la NASA), une expérience d'électrophorèse, une expérience d'élaboration de petites sphères de latex, les sept conteneurs du programme **Getaway Special**,...

Signalons qu'au cours de son vol l'équipage a découvert la trace (un cratère de 0,4 mm de profondeur et de 2,2 mm de diamètre) d'un impact (micrométéorite ou débris provenant de la présence de l'Homme dans l'espace?) au centre d'une des fenêtres de l'orbiteur. Celle-ci devra être changée pour STS-8.

C'est apparemment la première fois qu'une telle constatation est faite sur un véhicule habité américain, les spécialistes estimant qu'un tel « incident » ne risque de se produire qu'une fois tous les neuf mois de présence continue dans l'espace.

Au terme d'un séjour dans l'espace légèrement supérieur à **6 jours et 2 heures**, Challenger atterrissait sur la base Edwards et non pas, comme prévu, à proximité de son lieu de départ, au Centre spatial Kennedy, en raison des mauvaises conditions météorologiques régnant sur la Floride.

Nous rendrons compte, dans le prochain numéro, des missions STS-

8 (30 août/5 septembre) et STS-9, avec Spacelab-1, actuellement prévue au mois de novembre.

(Sources : *Press Kit NASA*, n° 83-87, juin 1983; *Aviation week and Space Technology*, 27 juin et 11 juillet 1983.)

J.-P. P.

(Tous les passages reproduits ici en italique correspondent à des extraits n'ayant subi aucune modification importante de la part du signataire de cette rubrique.)

Informations diverses

Pêle-mêle

Des livres sur l'espace (5)

Cette liste d'ouvrages touchant à la recherche spatiale et à des sujets connexes a été commencée dans les numéros 11 (p. 13), 16 (p. 11), 19 (p. 17) et 24 (p. 18) de notre revue.

- **Je construis un satellite...** (Guide pratique pour la construction d'une maquette active de satellite de communication), par G. Pignolet/CNES, mai 1983, document photocopié d'une quarantaine de pages plus particulièrement conçu à l'intention des animateurs de clubs scientifiques et des enseignants. Sera adressé gratuitement (dans la limite des stocks disponibles) à toute personne en faisant la demande à : CNES, département Documentation, ADF/DOC, 18, avenue Belin, 31055 Toulouse Cedex.

- **Dictionnaire de l'aéronautique et de l'espace**, anglais/français, volume 1 (format 110 × 170 mm, 740 pages, 25 000 mots ou expressions anglaises, plus de 40 000 traductions ou accep-



L'équipage de la mission STS-7 se dirige vers l'aire de lancement de la Navette. Au premier plan, de gauche à droite : Sally Ride, Fabian et Crippen. A l'arrière plan : Thagard (derrière Ride) et Hauck (derrière Crippen). (Photo AFP)

tions françaises des sciences et des techniques aérospatiales), 1^{re} édition, 1982, par Henri Goursau, prix : 120 F + port (19,50 F). Distributeur exclusif pour la France : H. Goursau, 14, avenue du Mail, 31650 St-Orens-de-Gameville. Pour l'exportation : SIACE, 33, rue Fortuny, 75017 Paris, tél. : 267.43.05 et 267.38.75.

● **Les montgolfières**, par Pierre-Louis Clément, éditions Tardy (6, rue Milton, 75009 Paris), 1982, prix : 160 F.

● **Premiers envols**, par Pierre Lissarague, éditions Joël Cuenot, diffusion Weber, 1982, prix : 290 F.

● **Les satellites et l'espace**, Albert Ducrocq raconte..., F. Nathan, 1982, prix : 39 F. Ouvrage très réussi, plutôt destiné à un jeune public... mais qui pourra être lu par tous avec intérêt.

● **La Terre**, Albert Ducrocq raconte..., F. Nathan, 1982, prix : 39 F.

● **La conquête de l'espace**, par M. H. Reynaud, P. Facon et P. de La Cotardière, Larousse, 1983, prix : 99 F.

Ouvrage remarquable autant par la qualité et l'abondance des illustrations que par l'intérêt du texte qui retrace

deux cents ans d'histoire dans le domaine des ballons, des avions et des véhicules spatiaux.

● **La vie dans l'espace**, Textes et documents pour la classe, n° 311, 8 avril 1983, prix : 8 F. Pour tout renseignement, s'adresser au CNDP, distribution, 29, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05, tél. : 329.21.64, poste 573.

● **Télécommunications spatiales**, ouvrage collectif réalisé par des ingénieurs du CNES et du CNET (tome 2 : secteur spatial, 386 pages et tome 3 : secteur terrien. Systèmes de télécommunications par satellite, 451 pages), Masson, 1983.

● **Astronomie**, encyclopédie Larousse, 1981, 326 pages, prix : 281 F.

● **Calcul astronomique pour amateurs** (adapté à l'emploi d'un calculateur ou d'un micro-ordinateur), par S. Bouiges, Masson, 1982, 4^e édition, 168 pages, prix : 86 F.

● **Évolution des fusées à propergols liquides**, par Robert H. Goddard, adaptation française de Hervé Moulin, collection Trajectoires, éditions Formule 13 (41, rue de Trévisse, 75009 Paris), 1982, 16 pages, prix : 22 F.

● **Les jeunes et l'espace (1962-1982)**, par Hervé Moulin, publication éditée par l'Association nationale sciences techniques jeunesse (Palais de la Découverte, avenue Franklin D. Roosevelt, 75008 Paris), 1982, 48 pages, prix : 30 F.

● **Les étoiles variables**, par M. Petit, Masson, 1982, 264 pages, prix : 125 F.

● **Mon premier livre d'astronomie**, par M. Toulmonde, éditions Études vivantes, 1983, 48 pages, prix : 42 F. L'éditeur en conseille la lecture aux enfants à partir de... 7 ans.

● Numéro spécial de l'**Aéronautique et l'astronautique**, n° 95, consacré à l'espace, éditions Air et Cosmos (6, rue Anatole-de-la-Forge, 75017 Paris, tél. : 766.46.10), 1983, prix : 40 F.

● **Observer les étoiles**, par P. Kohler, édition Ouest-France (38, rue du Pré-Botté, 35100 Rennes), 1983, 32 pages.

Un livre de référence

Bien que nous l'ayons déjà signalée dans notre numéro de février, il nous semble utile de rappeler la parution d'un document de qualité intitulé **Les enjeux de l'espace**.

De multiples sujets sont abordés sur 128 pages : l'histoire des fusées, la propulsion des lanceurs, la satellisation, les

activités de recherche et les applications civiles et militaires, les programmes spatiaux américains, soviétiques, européens et français, l'industrie et la politique spatiales françaises, le droit de l'espace, etc.

En outre, 14 notices de quatre pages présentent l'essentiel sur Ariane, la Navette américaine, quelques satellites français (SPOT-1, Télécom-1, TDF-1, etc.), la coopération internationale, la technologie des télécommunications spatiales, les effets économiques de l'espace, etc.

Les **Cahiers français**, n° 206-207, mai-septembre 1982, édités par la Documentation française (31, quai Voltaire, 75340 Paris Cedex 07, tél. : 261.50.10), prix : 46 F.

Des diapositives sur l'espace (3)

D'autres informations sur ce sujet ont été données dans notre revue (n° 19, p. 17; n° 22, p. 21; n° 23, p. 12 et n° 24, p. 17).

● Sur les **missions spatiales américaines**, *Galaxy Contact* commercialise des posters, des photographies et des diapositives. Signalons en particulier cinq séries avec commentaires des vues :

— **Apollo-11**, série de 22 diapositives couleur (89 F + 10 F de port et emballage);

— **Apollo-17**, série de 35 diapositives couleur (119 F + 10 F);

— **Jupiter Voyager-1 et 2**, série de 31 diapositives couleur (119 F + 10 F);

— **Saturne Voyager-1**, série de 18 diapositives couleur (79 F + 10 F);

— **Columbia**, série de 27 diapositives (99 F + 10 F).

Le lot des cinq séries : 540 F (port inclus). S'adresser à *Galaxy contact*, BP 26, 62101 Calais Cedex, France. Catalogue complet contre 4 timbres-poste à 1,60 F.

● Pour célébrer le **septième anniversaire de la sonde Viking sur Mars**, l'association *PromoSpace* édite une **série de 12 diapositives** en nombre limité, qui permettra de se faire une image complète de la **planète Mars**, après les fabuleux résultats que nous a apportés cette mission.

Cette série exceptionnelle sera tirée d'après des originaux de la NASA et montrera par exemple : de la gelée blanche autour des engins, une mosaïque haute résolution du site d'atterrissage prise en octobre 1982, etc.

Errata et addenda

● Dans le n° 14, en page 3, 1^{re} colonne, 8^e ligne : lire *vingt* à la place de deux.

● Dans le n° 20 (premier tirage), en page 7, 1^{re} colonne, 13^e ligne de l'encadré : lire *0,985* au lieu de *0,958*.

● Dans le n° 24, en page 27, 1^{re} colonne, à la date du 25 mars : lire *8^e* et non *18^e*.

● Dans le n° 25, en page 3, au sujet de la légende de la gravure sur Galilée : selon B. Vuilleumier, université II Genève, *Galilée* ne se tiendrait pas à gauche (où seraient représentés ses adversaires, penchés sur l'œuvre d'Aristote) mais *au centre* parmi ses élèves et disciples (voir *La recherche*, n° 146, juillet-août 1983, p. 1012).

● Pour lire avec profit l'article sur les premiers ballons libres (El n° 24), il peut être utile de savoir que *la toise* valait approximativement deux mètres et *la lieue* environ quatre kilomètres.

Ces séries sont mises en vente par souscription (date limite : le 31 décembre 1983) et vous seront expédiées en février 1984. Prière d'adresser votre nom, adresse complète, profession ainsi

qu'un chèque de 35 F (le port est compris) à l'ordre de PromoSpace, à : PromoSpace, 11 bis, boulevard Delessert, 75016 Paris.

(Communiqué PromoSpace)



Image n° 1 : cette image est une mosaïque formée de six images prises entre mi-juin et début septembre 1982, après plus de 2 100 jours martiens (ou « sols »), et plus de six ans terrestres passés à la surface de Mars. Noter, à gauche de l'image, le gros rocher « Big Joe » qui est à 8 mètres de l'engin (dimensions : 1 mètre de haut sur 2 de large). Noter aussi, à droite de l'image, les zones plus sombres sur les dunes de « sable ». Ces assombrissements locaux de la surface n'étaient pas là lors de l'atterrissage de Viking-1 et sont dus à l'érosion éolienne. En six ans, les vents martiens ont enlevé environ 0,5 mm de poussière, dévoilant des couches plus sombres. (Photo NASA-JPL/PromoSpace, légende PromoSpace)

● Indiquons les nouveaux livrets de diapositives édités par la Société astronomique de France :

— Planètes 8 : Saturne et ses anneaux vus par Voyager-2;

— Planètes 9 : Atmosphère de Saturne vue par Voyager-2;

— Planètes 10 : Satellites de Saturne vus par Voyager-2.

Ces livrets s'ajoutent aux quatorze livrets déjà édités.

Chaque livret contient six diapositives et une notice. Prix : 20 F (port en sus : 3 F jusqu'à deux livrets, 6 F pour trois à six livrets,...). S'adresser à la SAF, 3, rue Beethoven, 75016 Paris.

Philatélie spatiale

On nous prie d'annoncer la récente parution de Cosmospace (1^{re} édition), catalogue des oblitérations spatiales européennes, 180 pages, 1 500 FDC et documents répertoriés dont 70 % de photographies. 34 thèmes spatiaux. Prix : 120 F (franco).

S'adresser à Cosmospace, villa Columbia, Les Rochettes, 44240 La Chapelle-sur-Erdre, France.

Calendrier de l'espace

Du
31 octobre
1982
au
25 février
1983

Bases de lancement :

URSS : Plesetsk, Tyuratam-Baïkonour, Kapustin Yar

E.U. : Cap Canaveral, Vandenberg, île Wallops

Japon : Kagoshima, Tanegashima

ASE : Kourou (Centre spatial guyanais)

Inde : Sriharikota

Chine : Shuang Cheng Tse

- 31 - Lancement (Baïkonour) du véhicule automatique de ravitaillement **Progress-16** (186/245 km - 51,6° - 88,7 mn) qui rejoint la station orbitale Saliout-7 le 2 novembre à bord de laquelle séjournent Lebedev et Berezo-voï (voir EI, n° 24, p. 23). Après sa jonction, les paramètres de l'orbite du complexe spatial sont : 353/362 km - 51,6° - 91,6 mn. Progress transporte des denrées périssables et du matériel expérimental destinés aux deux cosmonautes. Une fois déchargé, il sera décroché le 13 décembre et détruit peu après selon le processus habituel. [1982 - 107A]

Novembre 1982

- 2 - Lancement (URSS) de **Cosmos-1419** (216/290 km - 70,4° - 89,3 mn) pour une mission présumée de reconnaissance/surveillance. Récupéré 14 jours plus tard. [1982 - 108A]
- 11 - Lancement (Plesetsk) de **Cosmos-1420** (782/820 km - 74° - 100,8 mn) pour une mission présumée de télécommunications militaires. [1982 - 109A]
- Début de la cinquième mission (STS-5) de la **Navette spatiale** américaine lancée de Cap Canaveral avec, pour la

première fois, quatre hommes à bord de Columbia : Brand, Overmyer, Lenoir et Allen. Ils réussiront la mise sur orbite des satellites SBS-3 [1982 - 110B] et Telesat-6 [1982 - 110C] mais par contre devront renoncer à la sortie dans l'espace prévue au programme. Retour le 16 novembre au terme d'une mission de 5 jours 2 heures 15 minutes (voir EI, n° 24, p. 25). [1982 - 110A]

- 17 - Lancement (Vandenberg) d'un satellite militaire américain de reconnaissance photographique de la série **KH-11**, alias OPS 9627 (232/520 km - 97° - 92,1 mn). Selon la revue *Spaceflight* (mai 1983, p. 222), il serait de forme cylindrique (hauteur : 15 m, diamètre : 3 m) et pèserait 13 t. [1982 - 111A]

Le Norad aurait alors annoncé (Air et Cosmos, n° 930, p. 57) que le satellite de la même série lancé le 7 février 1980 était rentré dans l'atmosphère le 30 octobre 1982 et que celui lancé le 3 septembre 1981 était toujours opérationnel.

- 18 - Lancement (URSS) de **Cosmos-1421** (216/286 km - 70,4° - 89,2 mn; manœuvrable) peut-être pour une mission de reconnaissance/surveillance photographique. Récupéré 14 jours plus tard. [1982 - 112A]
- Lancement (depuis la station orbitale Saliout-7) d'un petit satellite devant servir de relais aux radio-amateurs, **Iskra-3** (350/365 km - 51,6° - 91,5 mn). A cessé d'exister le 16 décembre 1982. [1982 - 33AD]

- 26 - Lancement (URSS) d'un nouveau satellite géostationnaire (35°E) de la série **Radouga** (le 10° ou 11° ?) pour les télécommunications. [1982 - 113A]

Décembre 1982

- 3 - Lancement (URSS) de **Cosmos-1422** (222/280 km - 72,8° - 89,5 mn; manœuvrable) peut-être pour une mission de reconnaissance/surveillance photographique. Récupéré 14 jours plus tard. [1982 - 114A]
- 8 - Lancement (URSS) de **Cosmos-1423** (408/506 km - 62,8° - 93,7 mn) peut-être pour l'écoute électronique. [1982 - 115A]
- 14 - Lancement (Plesetsk) d'un nouveau satellite météorologique **Météor-2** (810/859 km - 81,2° - 102 mn), le 9° de la série. [1982 - 116A]
Le dernier exemplaire de cette série, mis sur orbite le 25 mars 1982, était le 8° et non le 18° comme écrit par erreur (EI, n° 24, p. 27).
- 15 - Selon certaines sources (*Air et Cosmos*, 25 décembre 1982, p. 26), lancement (URSS) d'un nouveau satellite de télécommunications de la série **Molnya-2** qui n'est cependant pas mentionné par l'Union internationale des télécommunications.
- 16 - Lancement (URSS) de **Cosmos-1424** (170/303 km - 64,9° - 89,2 mn; manœuvrable) peut-être pour une mission de reconnaissance/surveillance photographique. Rentré ou récupéré 43 jours plus tard. [1982 - 117A]
- 20 (ou 21 ?) - Lancement (Vandenberg) du satellite météorologique militaire **Block 5 D2** (815/828 km - 98,7° - 101,3 mn). [1982 - 118A]
- 23 - Lancement (URSS) de **Cosmos-1425** (237/374 km - 70° - 90,3 mn) peut-être pour la reconnaissance/surveillance photographique. Récupéré 14 jours plus tard. [1982 - 119A]
- 28 - Lancement (Baïkonour) de **Cosmos-1426** (209/377 km - 50,6° - 90 mn; manœuvrable) peut-être pour la reconnaissance/surveillance photographique et, selon *Spaceflight* (juin 1983, p. 284), pour des activités en rapport avec la station Saliout-7. Récupéré le 5 mars 1983. [1982 - 120A]

- 29 - Lancement (URSS) de **Cosmos-1427** (460/494 km - 65,8° - 94 mn) peut-être pour une mission de calibration radar. [1982 - 121A]

Durant l'année 1982, l'Union soviétique aurait mis sur orbite 119 véhicules spatiaux (101 lancements), les États-Unis 22 (18 lancements), le Japon 1 et la Chine 1.

Depuis 1957, le nombre total de lancements réussis serait voisin de 1 529 pour l'Union soviétique et de 797 pour les États-Unis.

Selon un rapport du Congrès américain (voir *Informations Engins Espace*, n° 302, février 1983, p. 15), on aurait enregistré, au cours de la période 1957-1980, 726 lancements spatiaux réussis pour les États-Unis (pour un nombre de charges utiles lancées de 1 036 : 590 civiles et 446 militaires) et 1 339 pour l'Union soviétique (pour un nombre de charges utiles lancées de 1 846 : 758 civiles et 1 088 militaires).

Janvier 1983

- 12 - Lancement (Plesetsk) de **Cosmos-1428** (972/1 017 km - 82,9° - 104,7 mn) pour une mission présumée de navigation militaire. [1983 - 1A]
- 19 - Lancement (Plesetsk) par une même fusée de huit satellites, **Cosmos-1429, 1430, ... 1436** (≈ 1 449/1 513 km - 74° - 115,3 mn) sans doute pour les télécommunications militaires. [1983 - 2A, 2B, ... 2H]
- 20 - Lancement (URSS) de **Cosmos-1437** (629/678 km - 81,2° - 97,6 mn) peut-être pour l'écoute électronique. [1983 - 3A]
- 26 - Lancement (Vandenberg) du satellite astronautique **IRAS** (896/913 km - 99,1° - 103,1 mn) réalisé en coopération entre les Pays-Bas, les États-Unis et la Grande-Bretagne (voir EI, n° 25, p. 32). [1983 - 4A]
Selon la revue *Informations Engins Espace* (n° 302, p. 18) le coût du programme IRAS atteindrait 180 millions de dollars environ.
- 27 - Lancement (URSS) de **Cosmos-1438** (213/254 km - 70,4° - 88,9 mn; manœuvrable) peut-être pour la reconnaissance/surveillance photographique. Récupéré 11 jours plus tard. [1983 - 5A]

Février 1983

- 4 - Lancement (Tanegashima) du satellite japonais **Sakura-2A**, alias CS-2A. C'est un véhicule géostationnaire (132° Est) destiné aux télécommunications. Il est de forme cylindrique (diamètre : 2,2 m; hauteur : 3,3 m) et pèse 350 kg sur orbite. Il est stabilisé par rotation et sa durée de vie théorique est de cinq ans.
Ce sont les agences gouvernementales et les sociétés japonaises de télécommunications qui utiliseront l'essentiel de sa capacité (4 000 communications téléphoniques simultanées).
Sakura-2A est le premier satellite de télécommunications opérationnel du Japon et le premier satellite opérationnel à fonctionner dans la bande 20-30 GHz. [1983 - 6A]
- 6 - Lancement (URSS) de **Cosmos-1439** (180/371 km - 70,4° - 89,1 mn; manœuvrable) peut-être pour la reconnaissance/surveillance militaire. Récupéré 16 jours plus tard. [1983 - 7A]
- 9 - Lancement (Vandenberg) par la Marine américaine d'une charge utile alias OPS-0252 (≈ 1 050/1 170 km - 63,4° - 107,5 mn), sans doute destinée à la surveillance des océans, qui se serait scindée en trois, quatre ou cinq satellites. [1983 - 8A, ...]
- 10 - Lancement (URSS) de **Cosmos-1440** (223/293 km - 82,3° - 89,3 mn) peut-être pour l'observation des ressources terrestres. Récupéré 14 jours plus tard. [1983 - 9A]
- 16 - Lancement (Plesetsk) de **Cosmos-1441** (632/667 km - 81° - 97,5 mn) peut-être pour l'écoute électronique. [1983 - 10A]
- 20 - Lancement (Kagoshima) du satellite scientifique **Astro-B**, alias Tenma (450/570 km - 31,5° - 94,4 mn). Il servira à l'étude des rayonnements X émis par certaines étoiles et galaxies et complètera la mission de Astro-A, lancé le 21 février 1981. [1983 - 11A]
Astro-B serait le 8° satellite scientifique japonais et le 26° satellite national (13 pour la science, 13 pour les applications).
- 25 - Lancement (URSS) de **Cosmos-1442** (180/364 km - 67,2° - 89,6 mn) peut-être pour la reconnaissance/surveillance. [1983 - 12A]

Espace Information est une publication périodique (paraissant trois fois par an) que réalise le département Publications du Centre spatial de Toulouse du CNES.

Tarif de l'abonnement (souscrit obligatoirement pour deux ans, soit pour six numéros) : 75 F pour la France, 90 F pour l'étranger (envoi par avion). Tarif valable jusqu'au 31 mai 1987.

Toute demande d'abonnement est à adresser à : CIMM — Espace Information 15, rue des Pénitents blancs, 31000 Toulouse.

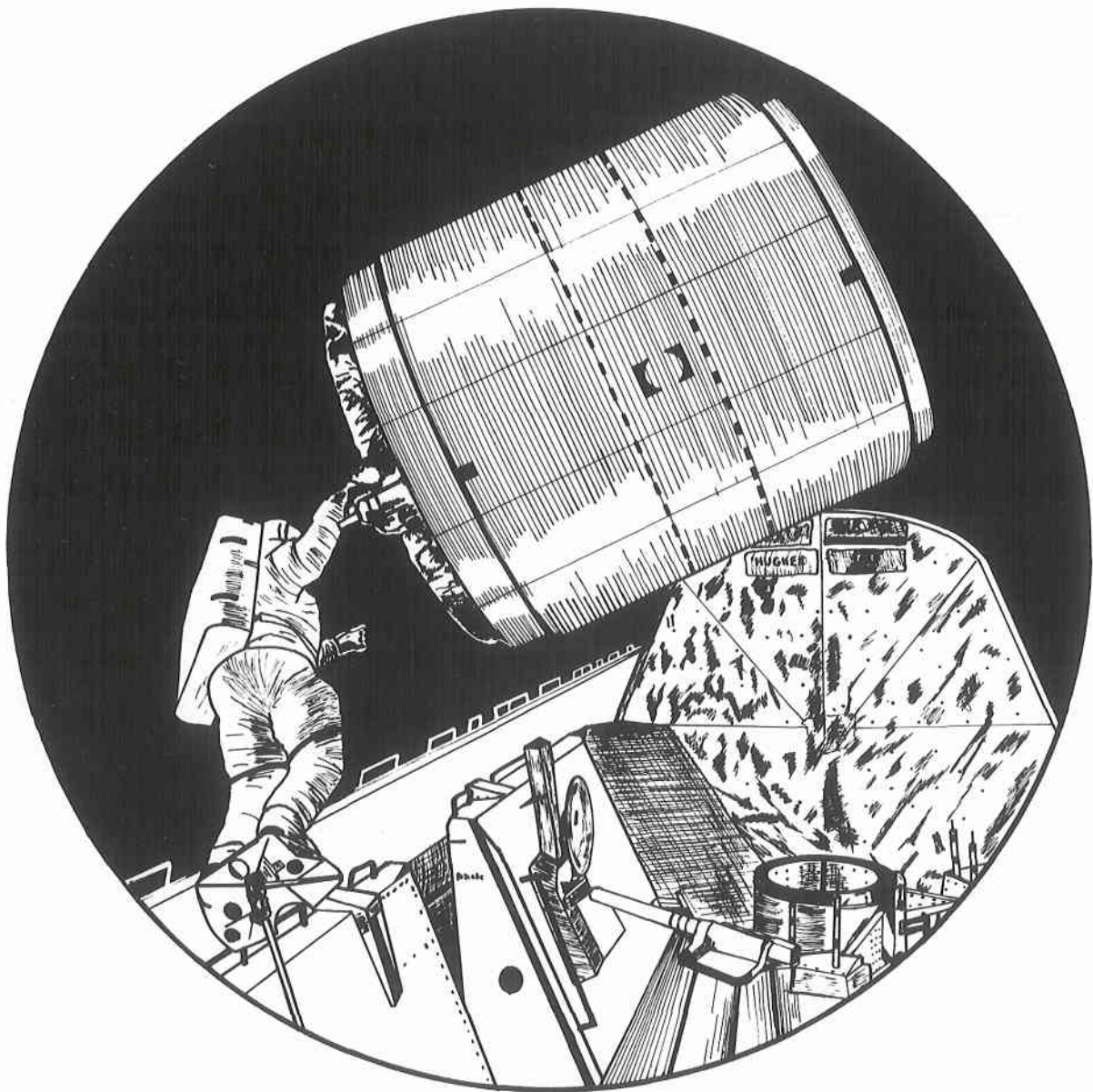
Téléphone : 61 21 52 36. Joindre le titre de paiement (CCP, chèque bancaire, mandat international, ...) libellé à l'ordre de CIMM Informatique. Exemple gratuit sur simple demande. Les anciens numéros d'Espace Information et des reliures sont en vente à la même adresse.

Pour toute autre correspondance écrire au département Publications du Centre spatial de Toulouse, 18, avenue Édouard-Belin, 31055 Toulouse Cedex. Téléphone : 61 27 31 31.

Les articles et les schémas d'Espace Information ne peuvent être reproduits sans autorisation préalable du département Publications.

ANALOGIES

pour comprendre le monde de l'espace



Pourquoi un astronaute peut-il manipuler de très lourdes charges ?

AUX yeux de certains, l'espace apparaît parfois comme un milieu presque « magique », aux propriétés exceptionnelles.

Et les apparences leur donnent un peu raison : l'impesanteur est un phénomène troublant et le fait que les objets gravitant autour de la Terre semblent perdre leur poids tient du prodige ! Il est exact que dans un vaisseau spatial plus rien ne « tombe » au sens terrestre : les objets et les hommes, frappés d'un immobilisme relatif, sont incapables de rejoindre normalement le « plancher » ; leur poids - comme par enchantement - semble avoir disparu...

Pour un peu, on ne s'étonnerait donc qu'à moitié de voir ces hardis cosmonautes - tel l'Atlas de la mythologie - manipuler allègrement de volumineux satellites de plus d'une demi-tonne ! Mais par quel « miracle » l'espace métamorphose-t-il tout cosmonaute en véritable Superman ?

Soulever ou déplacer ?

Sur Terre, chaque objet possède son propre poids. On désigne par là la force attractive que la Terre exerce sur lui (c'est la manifestation du phénomène de gravitation).

Soulever un objet reposant sur le sol revient à vaincre cette attraction, à développer une force supérieure au poids de l'objet. Mais la force musculaire de l'Homme a ses limites et la plupart d'entre nous sont incapables de soulever un adolescent de cinquante kilogrammes...

Par contre, plaçons-en dix, et même vingt, sur un radeau flottant sur un lac : un enfant pourra les éloigner (*) du bord ! De même, quelques adultes peuvent ébranler un wagon de plusieurs tonnes...

Pourquoi cette différence ? Parce qu'il ne s'agit plus, ici, de lever (c'est-à-dire d'éloigner du sol) mais de **déplacer**, de **faire glisser** parallèlement au sol. Et, en ce domaine, la performance sera d'autant plus spectaculaire qu'on parviendra à diminuer les frottements entre l'objet et son support. (Les Égyptiens de l'Antiquité l'avaient bien compris : c'est sur des rondins de bois que les esclaves affectés à la construction des pyramides pharaoniques faisaient avancer les massifs blocs de pierre...)

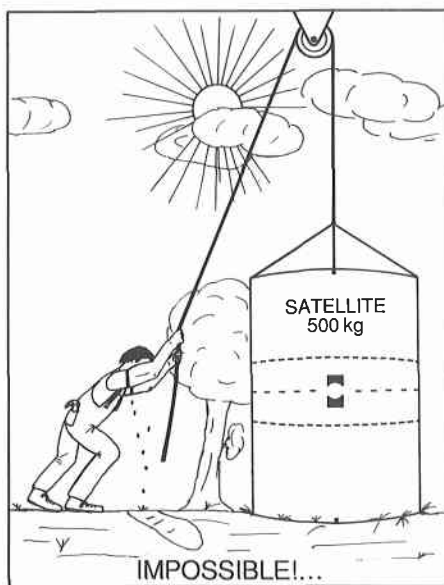
(*) Condition indispensable pour réussir : disposer d'un solide point d'appui. En effet, que l'enfant chausse des patins à roulettes, qu'il s'installe à son tour sur un radeau ou que le sol soit verglacé : c'est lui qui s'éloignera du radeau qu'il se proposait de déplacer !

C'est d'ailleurs là toute la difficulté du travail dans l'espace : **trouver un point d'appui**. L'astronaute y parvient soit en étant solidaire de son véhicule spatial, soit en s'aidant d'un système propulsif (type MMU).

Compenser le poids !

Dans les exemples choisis (radeau, wagon, Algéco, etc.), le poids se trouve compensé par une autre force (poussée d'Archimède, réaction du sol, tension du câble, etc.) : l'objet qu'on souhaite déplacer est en équilibre (statique). (Une poussée, plus ou moins importante, suffit à le mettre en mouvement.

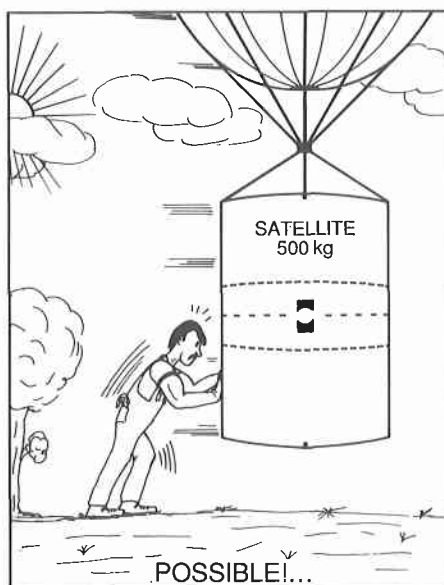
Dans l'espace, du point de vue des passagers d'un vaisseau spatial, on est également en présence d'une compensation du poids, mais de nature différente : ici, c'est la célèbre « force centrifuge » qui est responsable de l'équilibre (dynamique).



Dès qu'on tente de soulever une lourde charge, l'effort à déployer excède les capacités physiques de l'homme.

Par contre, ci-dessous, le poids est compensé en permanence; le satellite est en équilibre (statique) : on peut le mettre en mouvement...

C'est une situation analogue que connaît l'astronaute qui travaille en impesanteur. (Dessins EDI/EI)



Il en résulte que le vaisseau spatial « flotte » dans l'espace de même que l'astronaute qui vient d'en sortir et que le satellite qu'il se prépare à récupérer (... à condition de trouver un point d'appui !).

Ce qui revient à dire que l'astronaute se trouve désormais en mesure d'effectuer dans **les trois dimensions** ce que, sur Terre, il ne peut généralement entreprendre que selon les deux dimensions du plan horizontal : déplacer de très lourdes charges.

L'espace ne rend pas notre astronaute plus fort, il élargit simplement ses possibilités. Et afin de le préparer à ses activités en impesanteur, des techniques de simulation (dans lesquelles le poids est compensé par la poussée d'Archimède) lui sont proposées sur Terre : travail en piscine, manipulation de charges soutenues par un ballon d'hélium, etc.

L'inertie de toute chose...

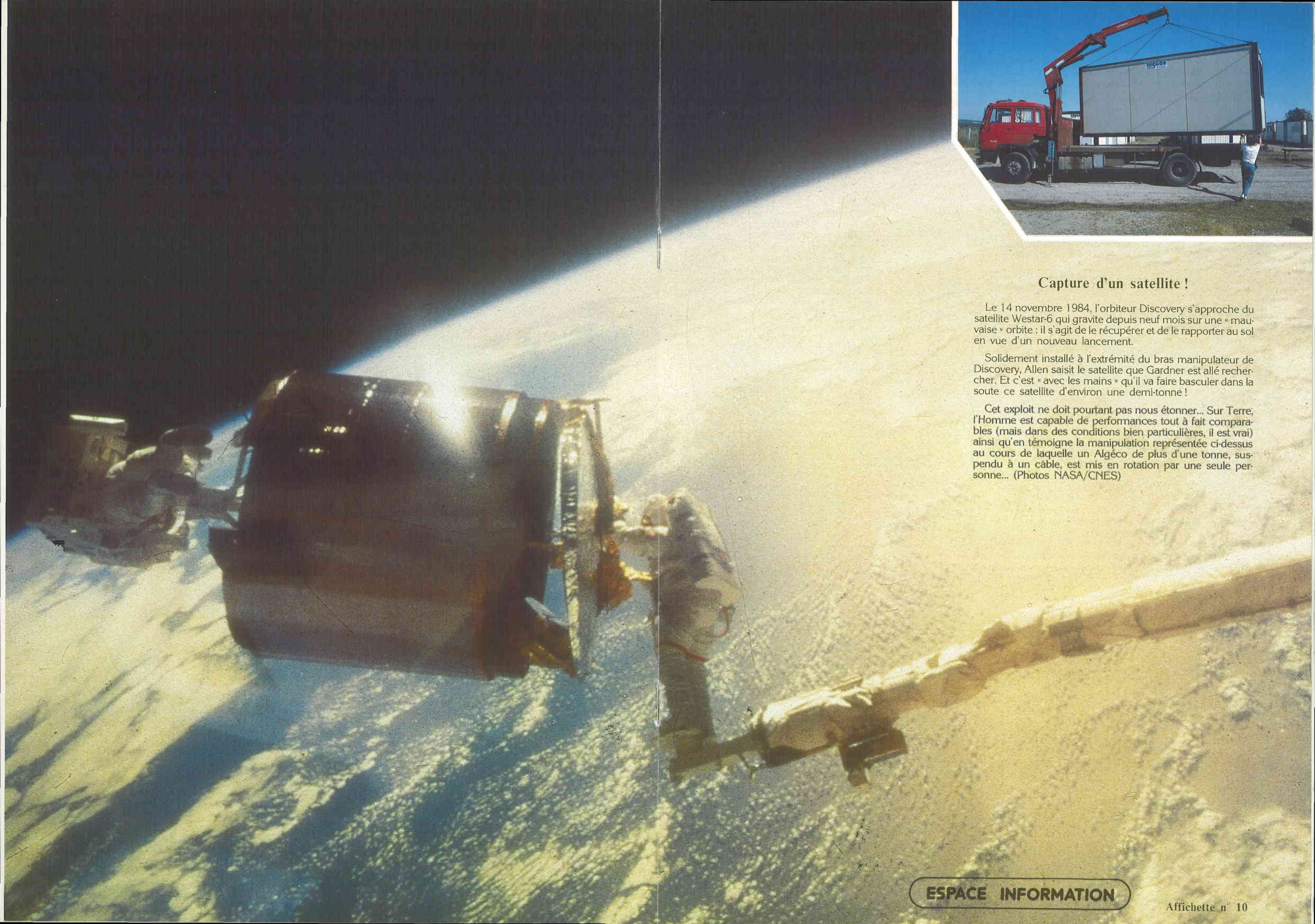
Dans tous les cas, l'effort à déployer pour déplacer un objet en équilibre (statique ou dynamique) dépend de sa **masse**, c'est-à-dire de la quantité de matière qu'il contient. A toute force appliquée, il opposera une certaine **inertie** (grandeur qui mesure sa « tendance » à demeurer dans le même état de mouvement) : s'il est immobile, il opposera une certaine résistance à sa mise en mouvement; s'il est en mouvement, il opposera une résistance au changement de son mouvement ou à sa mise au repos.

Point important : même lorsque le poids d'un objet est compensé, l'influence de sa masse subsiste... Il est toujours plus difficile de déplacer une masse de 10 kg qu'une masse de 10 g !

Par conséquent, c'est un effort comparable qu'il faudra exercer pour manipuler un satellite de 500 kg, que ce satellite soit en orbite autour de la Terre ou qu'il se trouve à la surface de la Terre, reposant sur un radeau ou suspendu à un ballon...

Ce n'est pas sans difficultés, certes, mais c'est bien moins dur que de le porter !

Couverture de l'affichette : le 12 novembre 1984, l'astronaute américain Allen procède au basculement, à l'intérieur de la soute de l'orbiteur de la Navette spatiale, du satellite Palapa B2 qui sera ramené au sol. (Dessin EDI d'après photo NASA)



Capture d'un satellite !

Le 14 novembre 1984, l'orbiteur Discovery s'approche du satellite Westar-6 qui gravite depuis neuf mois sur une « mauvaise » orbite : il s'agit de le récupérer et de le rapporter au sol en vue d'un nouveau lancement.

Solidement installé à l'extrémité du bras manipulateur de Discovery, Allen saisit le satellite que Gardner est allé rechercher. Et c'est « avec les mains » qu'il va faire basculer dans la soute ce satellite d'environ une demi-tonne !

Cet exploit ne doit pourtant pas nous étonner... Sur Terre, l'Homme est capable de performances tout à fait comparables (mais dans des conditions bien particulières, il est vrai) ainsi qu'en témoigne la manipulation représentée ci-dessus au cours de laquelle un Algéco de plus d'une tonne, suspendu à un câble, est mis en rotation par une seule personne... (Photos NASA/CNES)