

Edition trimestrielle n° 50 • 3 NF

SCIENCE VIE et

NUMÉRO HORS SÉRIE

A photograph of an astronaut in a white space suit standing in a circular hatch. The astronaut is holding a small orange and black object in their left hand and a metal tool in their right hand. The background is dark and metallic, suggesting the interior of a spacecraft.

l'homme
dans
L'ESPACE

Je n'ai qu'un regret

c'est de n'avoir pas connu plus tôt l'École Universelle !

écrivent des centaines d'élèves enthousiastes, rendant ainsi hommage au prestigieux ENSEIGNEMENT PAR CORRESPONDANCE de la plus importante école du monde, qui permet de faire chez soi, à tout âge, brillamment, à peu de frais, les études les plus variées, d'obtenir en un temps record tous diplômes ou situations.

MILLIERS D'INÉGALABLES SUCCÈS

Demandez l'envoi gratuit de la brochure qui vous intéresse :

- Br. 34.200 : **Les premières classes : 1^{er} degré, 1^{er} cycle** : Cours préparatoire (classe de 11*), Cours élémentaire (classes de 10* et 9*), Cours moyen (classes de 8*, 7*). Admission en 6*.
- Br. 34.205 : **Toutes les classes, tous les examens, 1^{er} degré, 2^e cycle** : classe de fin d'études, Cours complém., C.E.P., Brevets, C.A.P.; — **2^e degré** : de la 6* aux classes de Lettres sup. et de math. spéc., Bacc., B.E.P.C., Bourses; — **Classes des collèges techniques**, Brevet d'enseignement industriel et commercial, Bacc. technique.
- Br. 34.202 : **Les études de Droit** : Capacité, Licence, Carrières juridiques (Magistrature, Barreau, etc.).
- Br. 34.214 : **Les études supérieures de Sciences** : P.C.B., Certificats d'études sup. (M.G.P., M.P.C., S.P.C.N., etc.), C.A.P.E.S. et Agrégation de Math.
- Br. 34.223 : **Les études supérieures de Lettres** : Propédeut., Licence, C.A.P.E.S., Agrégation.
- Br. 34.227 : **Grandes Ecoles et Ecoles spéciales** : Polytechnique, Ecoles Normales Supérieures, Chartes, Ecoles d'Ingénieurs (Ponts et Chaussées, Mines, Centrale, Supérieure Aéro, Electricité, Physique et Chimie, A. et M., etc.); **militaires** (Terre, Mer, Air); d'**Agriculture** (Institut agronomique, Ecoles vétérinaires, Ecoles nationales d'Agriculture, Sylviculture, Laiterie, etc.); de **Commerce** (H.E.C., H.E.C.F., Ecoles supérieures de Commerce, Ecoles hôtelières, etc.); **Beaux-Arts** (Architecture, Arts décoratifs); **Administration** (Ecoles professionnelles, Ecoles spéciales d'Assistants sociaux, Infirmières, Sages-Femmes).
- Br. 34.204 : **Carrières de l'Agriculture** (Régisseur, Directeur d'Exploitation, Chef de culture, Assistant, Aviculteur, Apiculteur, etc.), **des Industries agricoles** (Laiterie, Sucrerie, Meunerie, etc.), **du Génie rural** (Entrepreneur, Conducteur, Chef de chantier, Radiesthésiste), **de la Topographie** (Géomètre expert).
- Br. 34.215 : **Carrières de l'Industrie et des Travaux publics** : Electricité, Electronique, Physique nucléaire, Mécanique, Automobile, Aviation, Métallurgie, Mines, Prospection pétrolière, Travaux publics, Architecture, Métier, Béton armé, Chauffage, Froid, Chimie, Dessin industriel, etc.; préparations aux C.A.P., B.P., Brevet de Technicien (Bâtiment, Tr. Publics, Chimie), préparations aux fonctions d'ouvrier spécialisé, agent de maîtrise, contre-maître, dessinateur, sous-ingénieur; Cours d'initiation et de perfectionnement toutes matières.
- Br. 34.203 : **Carrières de la Comptabilité** : Caissier, Chef Magasinier, Aide-Comptable, Comptable, etc., Préparation au C.A.P. d'Aide-Comptable, au B.P. de Comptable, au diplôme d'Expert-Comptable.
- Br. 34.216 : **Carrières du Commerce** : Employé de bureau, Sténodactylo, Employé de banque, Publicitaire, Secrétaire, Secrétaire de Direction, etc.; préparations aux C.A.P. et B.P.; **Publicité, Banque, Bourse, Assurances, Hôtellerie**.
- Br. 34.207 : **Pour devenir fonctionnaire** : Toutes les fonctions publiques; Ecole nationale d'Administration.
- Br. 34.217 : **Tous les emplois réservés**.
- Br. 34.210 : **Orthographe, Rédaction, Versification, Calcul, Dessin, Ecriture**.
- Br. 34.219 : **Calcul extra-rapide** et calcul mental.
- Br. 34.206 : **Carrières de la Marine Marchande** : Ecole nat. de la Mar. march., Elève-Officier au long cours; Lieutenant au cabotage; Capitaine de la Marine Marchande; Patron au bornage; Patron et Patron de pêche; Officier Mécanicien de 2^e ou 3^e classe; Certificats internationaux de Radio de 1^{er} ou de 2^e classe (P.T.T.).
- Br. 34.224 : **Carrières de la Marine de Guerre** : Ecole Navale; Ecole des Elèves officiers; Ecole des Elèves ingénieurs mécaniciens; Ecoles de Service de Santé; Commissariat et Administration; Ecoles de Maistrance; Ecole d'Apprentis marins; Ecoles de Pupilles; Ecoles techniques de la Marine; Ecole d'application du Génie maritime.
- Br. 34.218 : **Carrières de l'Aviation** : Ecoles et carrières militaires; Ec. de l'Air, Ec. milit. de sous-offic. élèves-offic.; Personnel navigant; Mécaniciens et Télémechaniciens; — Aéronautique civile; — Carrières administratives; — Industrie aéronautique; — Hôtesse de l'Air.
- Br. 34.201 : **Radio** : Certificats internationaux; Construction; dépannage de poste. — **Télévision**.
- Br. 34.226 : **Langues vivantes** : Anglais, Allemand, Russe, Espagnol, Italien, Arabe. — **Tourisme**.
- Br. 34.208 : **Etudes musicales** : Solfège, Harmonie, Composition, Direction d'orchestre; Piano, Violon, Flûte, Clarinette, Guitare, Accordéon, Instruments de Jazz; Chant; Professorats publics et privés.
- Br. 34.220 : **Arts et Dessins** : Dessin pratique, Cours universel de Dessin; Anatomie artistique; Illustration; Figurine de mode, Composition décorative; Aquarelle, Gravure, Peinture, Pastel, Fusain; Professorats.
- Br. 34.225 : **Carrières de la Couture et de la Mode** : Coupe, Couture (Flou et Tailleur), Lingerie, Corset, Broderie, préparations aux C.A.P., B.P., Professorats officiels; préparations aux fonctions de Petite main, Seconde main, Première main, Vendeuse-Retoucheuse, Modiste, Coupeur hommes, Chemisier, etc.; Cours d'initiation et perfectionnement toutes spécialités. — **Enseignement ménager** : Monitorat et Professorat.
- Br. 34.211 : **Secrétariats** (Secrétaire de direction, Secrétaire particulier, Secrétaire de médecin, d'avocat, d'homme de lettres, Secrétaire technique); **Journalisme** : **L'Art d'écrire** (Rédaction littéraire) et **L'Art de parler en public** (Eloquence usuelle).
- Br. 34.221 : **Cinéma** : Technique générale, Décoration, Prise de vues, Prise de son, **Photographie**.
- Br. 34.209 : **Coiffure et Soins de beauté**.
- Br. 34.228 : **Toutes les Carrières féminines**.

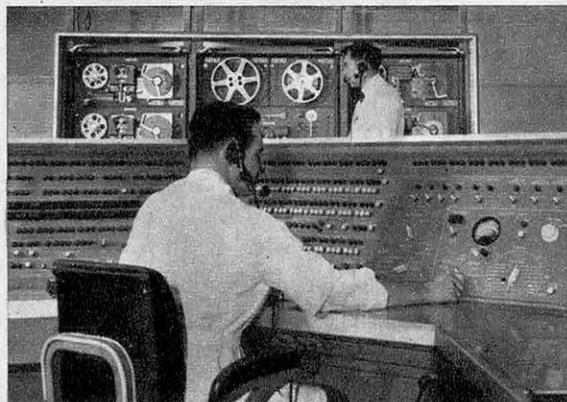
La liste ci-dessus ne comprend qu'une partie de nos enseignements. N'hésitez pas à nous écrire. Nous vous donnerons gratuitement tous les renseignements et conseils qu'il vous plaira de nous demander.

DES MILLIERS D'INÉGALABLES SUCCÈS

remportés chaque année par nos élèves dans les examens et concours officiels prouvent l'efficacité de l'enseignement par correspondance de

L'ÉCOLE UNIVERSELLE, 59, boulevard Exelmans - PARIS (XVI^e)

14, Chemin de Fabron, NICE (A.-M.) 11, place Jules-Ferry, LYON



Techniques modernes....

.... carrières

d'avenir

BOUM

La Science Atomique et l'Electronique sont maintenant entrées dans le domaine pratique, mais nécessitent, pour leur utilisation, de nombreux Ingénieurs et Techniciens qualifiés.

L'INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL, répondant aux besoins de l'Industrie, a créé des cours par correspondance spécialisés en Electronique Industrielle et en Energie Atomique. L'adoption de ces cours par les grandes entreprises nationales et les industries privées en a confirmé la valeur et l'efficacité.

ÉLECTRONIQUE

Ingénieur. — Cours supérieur très approfondi, accessible avec le niveau baccalauréat mathématiques, comportant les compléments indispensables jusqu'aux mathématiques supérieures. Deux ans et demi à trois ans d'études sont nécessaires. Ce cours a été, entre autres, choisi par l'E.D.F. pour la spécialisation en électronique de ses ingénieurs des centrales thermiques.

Programme n° IEN.O

Agent technique. — Nécessitant une formation mathématique nettement moins élevée que le cours précédent (brevet élémentaire ou même C.A.P. d'électricien). Cet enseignement permet néanmoins d'obtenir en une année d'études environ une excellente qualification professionnelle. En outre il constitue une très bonne préparation au cours d'ingénieur.

De nombreuses firmes industrielles, parmi lesquelles : les Acéries d'Imphy (Nièvre); la S.N.E.C.M.A. (Société nationale d'études et de construction de matériel aéronautique), les Ciments Lafarge, etc. ont confié à l'INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL le soin de dispenser ce cours d'agent technique à leur personnel électricien. De même, les jeunes gens qui suivent cet enseignement pourront entrer dans les écoles spécialisées de l'armée de l'Air ou de la Marine, lors de l'accomplissement de leur service militaire.

Programme n° ELN.O

Cours élémentaire. — L'INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL vient également de créer un cours élémentaire d'électronique qui permet de former des électroniciens « valables » qui ne possèdent, au départ, que le certificat d'études primaires. Faisant plus appel au bon sens qu'aux mathématiques, il permet néanmoins à l'élève d'acquérir les principes techniques fondamentaux et d'aborder effectivement en professionnel l'admirable carrière qu'il a choisie.

C'est ainsi que la Société internationale des machines électroniques BURROUGHS a choisi ce cours pour la formation de base du personnel de toutes ses succursales des pays de langue française.

Programme n° EB.O

ÉNERGIE ATOMIQUE

Ingénieur. — Notre pays, par ailleurs riche en uranium, n'a rien à craindre de l'avenir s'il sait donner à sa jeunesse la conscience de cette voie nouvelle.

A l'heure où la centrale atomique d'Avogadro (Indre-et-Loire) est en cours de réalisation, on comprend davantage les débouchés offerts par cette science nouvelle qui a besoin dès maintenant de très nombreux ingénieurs.

Ce cours de formation d'ingénieur en énergie atomique, traitant sur le plan technique tous les phénomènes se rapportant à cette science et à toutes les formes de son utilisation, répond à ce besoin.

De nombreux officiers de la Marine Nationale suivent cet enseignement qui a également été adopté par l'E.D.F. pour ses ingénieurs du département « production thermique nucléaire », la Mission géologique française en Grèce, les Ateliers Partiot, etc.

Programme n° EA.O

AUTRES COURS

Vous trouverez dans les numéros mensuels de cette revue un programme succinct de tous les autres cours qui ont fait le renom de l'INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL dans tous les milieux industriels.

Demander sans engagement le programme qui vous intéresse en précisant le numéro et en joignant 2 timbres pour frais.

INSTITUT TECHNIQUE PROFESSIONNEL

ÉCOLE DES CADRES DE L'INDUSTRIE

Bâtiment A

69, RUE DE CHABROL - PARIS (X^e)

PRO 81-14 et 71-05

POUR LA BELGIQUE : I.T.P. Centre administratif

87, Rue de l'École - ERPENT-NAMUR

Amateurs d'astronomie, adhérez à la
**SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE
DE FRANCE**

fondée en 1887 par C. FLAMMARION
reconnue d'utilité publique en 1897

vous recevrez la revue mensuelle

L'ASTRONOMIE,

vous aurez à votre disposition une importante
Bibliothèque, un Observatoire, des séances
mensuelles, cours, conférences, etc.

Demandez les programmes au Siège de la Société
28, rue Serpente - PARIS 6^e

Permanence, tous les jours non fériés de 14 à 17 h.

Cotisations: Région Parisienne: 25 NF;
France: 20 NF; Étranger: 30 NF; Section
spéciale Étudiants: 3 NF; Droit d'inscription
pour tous: 2 NF.

Envoyez 1 NF en timbres-poste, vous
recevrez un numéro spécimen de la revue

L'ASTRONOMIE et
SPLENDEUR de L'ASTRONOMIE
plaquette, néogravure bleu nuit, présen-
tant les plus belles photographies astro-
nomiques.

LA PROSPECTION DE L'URANIUM

à la portée de tous

Avec le détecteur D.R.A. I
à compteur Geiger-Muller

Détection auditive

SOCIÉTÉ D'APPLICATIONS INDUS-
TRIELLES DE LA PHYSIQUE

Alimentation par une seule pile
de 1,5 volt — autonomie 500 heures
Le plus robuste - le plus léger (400 gr)
Format 8 cm x 14 cm - le meilleur marché

25 500 F. (franco t. t. c.)

En vente à la

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

24, rue Chauchat - PARIS-9^e

Tél. : TAI. 72-86 - C.C.P. Paris 4192-26

Prospectus détaillé
expédié sur simple demande

une œuvre monumentale

GRAND LAROUSSE ENCYCLOPÉDIQUE

en 10 volumes 21 x 27 cm

publié actuellement par fascicules. Le tome 1 relié va paraître
incessamment.

Des conditions exceptionnelles de souscription rendent accessible à
tous ce dictionnaire unique au monde, qui contient toutes les
connaissances du passé et du présent.

D'une conception absolument nouvelle, le GRAND LAROUSSE
ENCYCLOPÉDIQUE est indispensable pour comprendre les événe-
ments, les idées et les techniques qui transforment si rapidement la
vie contemporaine.

RENSEIGNEMENTS CHEZ TOUS LES LIBRAIRES

NUMÉRO HORS SÉRIE

L'HOMME DANS L'ESPACE

SOMMAIRE

• ÉDITORIAL	4
• LA MÉCANIQUE DES VOYAGES EXTRA-TERRESTRES	6
• CE QU'EST NOTRE MONDE SOLAIRE	22
• LA MÉDECINE AU SERVICE DES ASTRONAUTES	34
• CE QU'ONT RÉVÉLÉ LES LANCEMENTS DE SATELLITES	56
• LES FUTURS LABORATOIRES SPATIAUX	70
• LA COLONISATION DE LA LUNE	77
• UN ALLER ET RETOUR LUNAIRE	81
• 1957-1960 : FEU D'ARTIFICE DANS L'ESPACE	90
• COMBUSTIBLES ET FUSÉES POUR ASTRONEFS	114
• LA « RENTRÉE » DANS L'ATMOSPHÈRE	130
• LA VIE EXISTE-T-ELLE SUR D'AUTRES PLANÈTES	140
• LES EXPÉDITIONS VERS LES ASTRES LOINTAINS	146
• LE DROIT DE L'ESPACE	153

Directeur général :
Jacques Dupuy

Directeur :
Jean de Montulé

Rédacteur en chef :
Jean Bodet

Direction, Administration, Rédaction : 5, rue de La Baume, Paris-8^e. Tél. : Balzac 57-61. Chèque postal 91-07 PARIS. Adresse télégr. : SIENVIE PARIS.

Publicité : 2, rue de La Baume, Paris-8^e. Tél. : Elysées 87-46.

Bureau de New York : Arsène Okun, 64-33, 99th Street Forest Hills, 74 N. Y. Tél. : Twining 7.3381.

Bureau de Londres : Louis Bloncourt, 17 Clifford Street, London W. 1. Tél. : Regent 52-52.

TARIF DES ABONNEMENTS

POUR UN AN :	France et Union Fr ^{se}	Étranger
12 parutions	15, — NF	20, — NF
12 parutions (envoi recommandé)	22,50 NF	28, — NF
12 parutions plus 4 numéros hors série	24, — NF	32, — NF
12 parutions plus 4 numéros hors série (envoi recd ^e)	34, — NF	42, — NF

Règlement des abonnements: SCIENCE ET VIE, 5, rue de La Baume-Paris. C.C.P. PARIS 91-07 ou chèque bancaire. Pour l'Étranger par mandat international ou chèque payable à Paris. Changement d'adresse : poster la dernière bande et 0,30 NF en timbres-poste.

Belgique et Grand-Duché (1 an) Service ordinaire	FB 180
Service combiné	FB 330
Congo Belge et Hollande (1 an) Service ordinaire	FB 200
Service combiné	FB 375

Règlement à Édimonde, 10, boulevard Sauvemère, CCP. 283.76, P.I.M. service Liège.

AVANT-PROPOS

C'EST un grand honneur que l'on m'a fait en me demandant d'écrire l'introduction de ce numéro spécial consacré à l'Astronautique. Je le ressens, mais j'en suis intimidé. Devant cette famille de problèmes qui forme en même temps une gerbe d'aventures prochaines et inouïes, il est certes indispensable de se placer au point de vue purement humain ; qui est celui dont aucune technique ne peut s'affranchir, sous peine de devenir monstrueuse.

Ce point de vue se situe à plusieurs étages, qui se succèdent comme les paliers d'une tour. A l'étage le plus bas, la place est prise par une sagesse très ancienne, qui hésite à élever la voix. Son rôle, en effet, consisterait à nous dire : « L'homme est donc tellement sûr d'avoir mené jusqu'aux approches de la perfection son habitat terrestre ? Les milliards de dollars (ou de nouveaux francs) qu'il commence à prodiguer en faveur de la recherche astronautique n'auraient-ils plus où s'employer, s'il s'agissait par exemple de fertiliser des déserts, d'améliorer des voies de communication transcontinentales, de corriger des courants maritimes, même tout simplement de remplacer les innombrables variétés de taudis et d'agglomérations nauséabondes par des réseaux harmonieux de logis salubres ? »

Cette sagesse, je le reconnais, parle un langage bien terre à terre, et menacé en outre d'anachronisme. L'animal humain est ainsi fait que l'appel à son intérêt le plus évident, le plus palpable, le touche moins qu'une caresse à son imagination ou qu'un excitant.

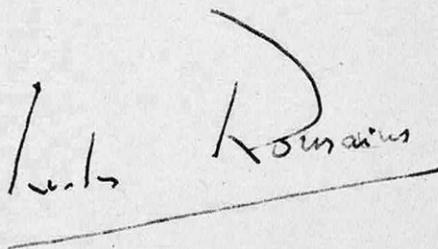
A l'étage du dessus, une inquiétude déjà moins médiocre regarde l'horizon et ne craint pas de l'interroger. Elle se demande si l'humanité de cette seconde moitié du vingtième siècle ne va pas être à la fois l'auteur et la victime de la plus affreuse duperie. Les buts affichés ont-ils un rapport véritable avec les intentions profondes ? A première vue, l'entreprise est noble, même sublime. Mais ce que l'on cherche en réalité, n'est-ce pas un procédé nouveau et merveilleusement efficace de destruction mutuelle ? Est-ce par hasard que dans les principaux pays l'astronautique est plus ou moins une section de l'armée, alimentée par les ressources du budget militaire ? Chaque progrès qu'elle accomplit est-il autre chose qu'un pas de plus vers l'anéantissement infaillible de l'espèce ? On fait semblant de viser la Lune. Mais la cible, c'est la chair et le cœur du voisin.

Il serait malhonnête et un peu sot de faire fi de pareilles préoccupations. Il convient même de leur apporter un apaisement chaque fois qu'il se peut. Dès qu'il paraîtra concevable de dissocier l'exploration innocente ou l'investigation scientifique de ce que j'appellerai la préméditation guerrière, il faudra s'y attacher : choisir, entre deux ou plusieurs moyens, entre deux ou plusieurs types d'appareils ou d'équipements, le moins

suspect de collaborer éventuellement à l'œuvre de mort. Je ne me dissimule pas que la démarcation sera souvent délicate; au point d'être décourageante quand il s'agira d'astronautique proprement dite. Comment empêcher à l'avance un astronef de se compromettre un jour dans un usage militaire; de recevoir une cargaison destinée non point à mesurer quelque champ magnétique extra-terrestre, mais à ratisser un bon morceau de notre globe?

J'allais oublier un souci, également d'ordre humain, qui pourtant est bien naturel : celui qui concerne le salut des équipages quand les astronefs en seront pourvus; ce qui ne saurait beaucoup tarder, semble-t-il. Nous avons le sentiment que toutes les précautions imaginables seront prises; et qu'au surplus ceux qui accepteront ce risque sans précédent le feront en toute connaissance de cause et en pleine liberté de décision. Je veux dire que l'on aura sûrement fait appel non à leur enthousiasme qui ne sera que trop impatient de s'exercer, mais à leur froide appréciation des périls divers où d'instinct ils se jetteraient tête baissée.

Faisons un effort supplémentaire d'objectivité. Tâchons de nous représenter, de l'extérieur et d'un peu loin, le spectacle que nous autres hommes sommes en train de donner, à n milliards d'années de distance des origines communes. Au sein d'un univers démesuré, tournoie presque sur place une parcelle minuscule. Des êtres encore bien plus infimes qu'elle, d'une structure très particulière, s'y sont développés depuis en somme assez peu de temps. Leur agitation était demeurée jusqu'ici parfaitement imperceptible du dehors. Mais certains d'entre eux étaient doués d'une propriété étrange, liée à l'existence chez eux d'une forme suractivée d'un fait très inégalement répandu dans le cosmos, et plutôt exceptionnel, qui est le fait de conscience. Cette propriété consiste à ne point tolérer durablement des limites, à faire pression sur elles. C'est si l'on veut une vertu de dilatation indéfinie. Après avoir entièrement recouvert leur support, ces curieux êtres aspirent à en déborder. Cela ne fait encore que des jaillissements très faibles et discontinus, à peine l'ébauche d'une toute petite « couronne solaire ». Mais ce n'est qu'un commencement. Et il y a de quoi rêver.

A handwritten signature in dark ink, reading 'Jules Romains'. The signature is written in a cursive, somewhat stylized hand. The first name 'Jules' is on the left, and 'Romains' is on the right, with a large, sweeping flourish above the 'R'.

Jules ROMAINS
de l'Académie Française

Les voyages dans l'espace

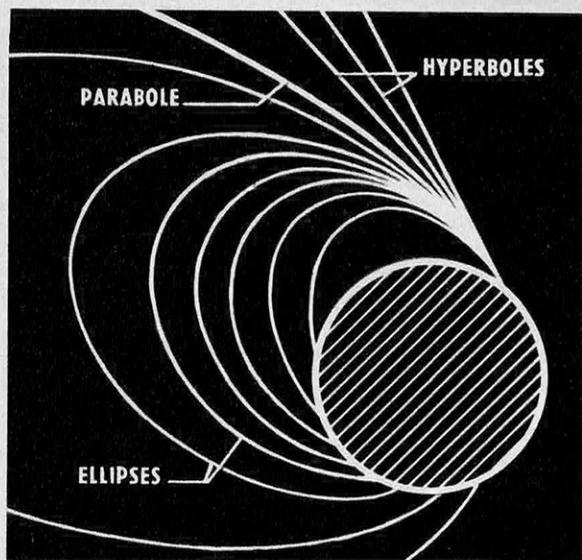
« PENDANT des siècles et des siècles, les hommes ont rêvé de conquérir l'air, de planer au-dessus des monts et des mers et de dominer la Terre. Ce rêve s'est accompli; il ne leur suffit plus. Ils songent maintenant aux espaces extra-terrestres et interplanétaires, sinon même aux espaces interstellaires. Réduit à notre globe minuscule, le monde n'apparaît plus que comme une étroite prison, dont il est temps de briser les barreaux. »

Ainsi s'exprimait Ernest Esclangon, Directeur honoraire de l'Observatoire de Paris, il y a seulement sept ans, peu avant que les Spoutnik, Vanguard, Explorer aient franchi les limites de l'atmosphère. Depuis, un Lunik a atteint notre Lune de plein fouet, un autre a photographié sa face inconnue. Plusieurs engins bâtis sur Terre orbitent aujourd'hui autour du Soleil. Demain, dans quelques semaines ou mois au plus, un homme va s'embarquer sur un satellite artificiel lancé par les Terriens. Dans peu d'années, un homme ira scruter de près la Lune depuis toujours inaccessible, en fouler peut-être le sol et revenir auréolé de la gloire des grands découvreurs et « sain et sauf. 400 000 km, dix fois le tour de la Terre, comme cela nous semble déjà peu de chose. Dans les milieux officiels on parle de voyages prochains à Vénus et à Mars, et il s'agit là de millions de kilomètres : 40 millions au moins pour Vénus, 55 millions pour Mars. Les 550 millions de kilomètres de Jupiter ne nous effraient même plus. Et pourquoi pas Saturne à plus d'un milliard, Uranus à plus de deux milliards, Neptune et Pluton à plus de quatre

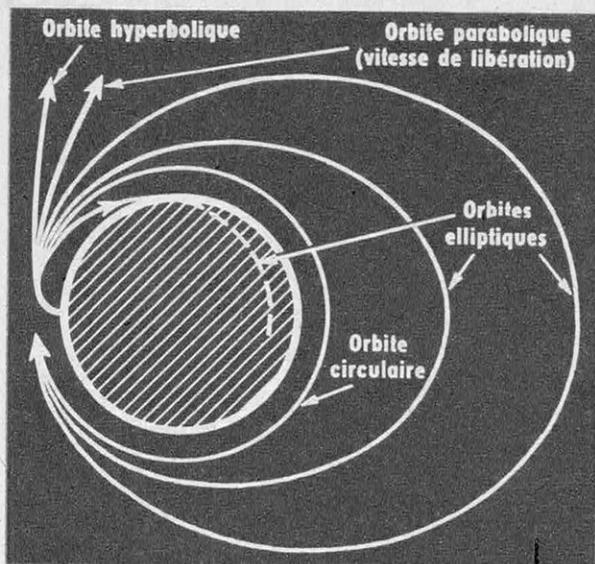
AU-DESSUS DE L'ANTARCTIQUE, à 6 500 km d'altitude, voici une station-satellite telle que la voit William C. House de l'Aerojet General Corp. Elle tourne autour de son axe pour sa stabilisation et pour créer dans les locaux habités une pesanteur artificielle. Sur la plate-forme s'est posée une fusée de ravitaillement. →







LANCÉ DU SOL, un projectile ne peut devenir un satellite, même si on néglige l'atmosphère. Si la trajectoire est une ellipse, comme elle doit repasser par le point de départ, l'obus rencontrera le sol. Si c'est une parabole ou hyperbole, il partira à l'infini.



EN ALTITUDE, hors de l'atmosphère, le lancement, supposé ici suivant l'horizontale, donne, pour des impulsions convenables, des orbites elliptiques avec le centre de la Terre pour foyer ; parabole ou hyperboles pour de très grandes vitesses initiales.

milliards de kilomètres, pour ne plus rien ignorer de ces compagnons encore pleins de mystères que le Soleil entraîne avec nous dans l'immense océan de l'espace.

Volontiers nous laisserions courir notre imagination, oubliant que hors du système solaire l'ordre des grandeurs change. On n'évalue plus les distances en kilomètres, mais en années-lumière, ce que parcourt la lumière en un an à raison de 300 000 km à la seconde. La plus proche étoile est à 4 années-lumière au moins; la nébuleuse d'Andromède, la plus voisine de notre Galaxie, se trouve à 1 500 000 années-lumière; et il y en a d'autres, innombrables, à des centaines de millions ou des milliards d'années-lumière. A ce domaine il ne faut pas songer même pour un avenir lointain. Abandonnons-le sans hésiter aux romanciers de science-fiction.

Quelques erreurs trop communes

On peut s'étonner, après tant de lancements spectaculaires si abondamment commentés, du nombre d'idées populaires erronées qui sont encore monnaie courante. L'une des plus répandues est qu'une fusée ne peut pas fonctionner dans le vide, alors que c'est précisément là qu'elle opère dans les meilleures conditions. Une autre est que la vitesse d'une fusée ne peut dépasser celle avec laquelle elle éjecte ses gaz, alors que la mécanique

élémentaire montre qu'elle lui est facilement très supérieure et ne cesse de croître tant qu'il reste quelque chose à éjecter. Plus grave est l'erreur commise par ceux qui ne conçoivent pas qu'il puisse y avoir mouvement sans propulsion, se fiant à leur expérience quotidienne qui montre qu'un véhicule finit par s'arrêter quand le combustible vient à manquer, alors qu'il leur suffit de lever les yeux pour voir ce véhicule énorme qu'est la Lune tourner, et cela depuis des milliards d'années, sans aucune propulsion autonome.

L'attraction universelle

Une erreur tout aussi grave est la croyance qu'un véhicule peut être lancé dans l'espace de manière à ce qu'il « échappe » à l'attraction terrestre. Il ne lui échappera pas plus que le ballon de football qui rebondit sur le stade de Colombes n'échappe à celle du Soleil ou de Sirius. Tous les corps dans l'Univers s'attirent mutuellement en raison directe de leurs masses et en raison inverse du carré de leur distance. Lorsqu'ils sont très éloignés l'un de l'autre, leur attraction, jamais nulle, peut être négligeable devant d'autres plus fortes. L'attraction qu'exerce la Terre sur la Lune est prépondérante à la distance à laquelle se trouve notre satellite, et celui-ci tourne sagement autour de notre planète, tout en restant sensible à l'attraction du Soleil, beau-

coup plus faible parce que l'astre est beaucoup plus éloigné. L'orbite de la Terre autour du Soleil est perturbée par les planètes lointaines mais massives, comme Jupiter. Tous les corps sont solidaires.

Toute la mécanique céleste est gouvernée par la loi générale de l'attraction universelle, formulée il y a 300 ans; l'expression que lui a donnée le génie de Newton demeure toujours valable. Elle s'applique aux engins lancés artificiellement dans l'espace comme aux astres naturels. S'ils n'est soumis à aucune force extérieure, un corps poursuit son mouvement en ligne droite et à vitesse constante, indéfiniment. S'il subit l'attraction d'une masse très importante par rapport à la sienne, il décrit une trajectoire remarquablement simple, une « conique » : ellipse, parabole ou hyperbole, dont le centre de gravité de cette masse constitue un des foyers.

C'est le cas de la Lune autour de la Terre, à peu de choses près. C'est aussi, en gros, celui des engins lancés par l'homme autour de la Terre, avec cette complication qu'aux perturbations qu'exercent sur leur orbite la Lune et le Soleil s'ajoutent celles dues au fait que la Terre n'est pas rigoureusement sphérique et, aussi, qu'elle possède une atmosphère qui s'étend très loin de sa surface. Négligeons pour l'instant tous ces effets.

Le projectile lancé de la Terre

Supposons que l'on lance à grande vitesse un projectile à partir d'un point de la surface terrestre. Peut-on ainsi créer un satellite permanent? La réponse est négative. Soumis à la seule force attractive de la Terre, dirigée vers son centre, il décrit une orbite hyperbolique si sa vitesse initiale est supérieure à 11 km par seconde environ et s'éloignera indéfiniment. Si la vitesse initiale est moindre que 11 km par seconde, l'orbite sera une ellipse, courbe fermée qui doit ramener le projectile à son point de départ, avec la même vitesse, en grandeur et en direction; bien entendu, il heurtera le sol auparavant.

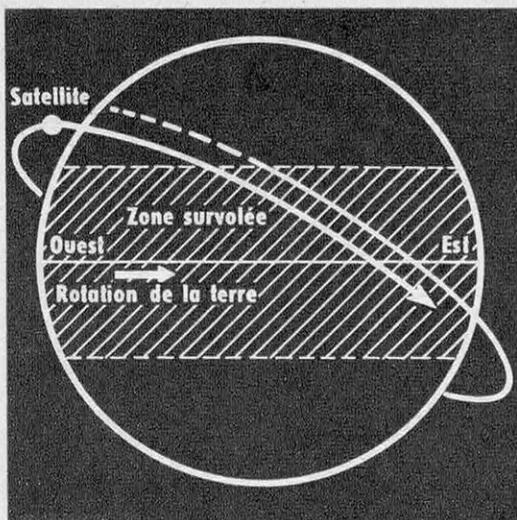
Restituons à la Terre son atmosphère et effectuons le lancement d'un point de son enveloppe gazeuse. S'il n'y avait pas d'atmosphère on obtiendrait encore une trajectoire hyperbolique ou elliptique qui repasserait par le point de départ et dont le point le plus rapproché du centre de la Terre, le « périgée », serait donc à une altitude au plus égale à celle d'où s'est effectué le lancement. Du fait de l'atmosphère qui exerce un freinage, cette altitude ne peut qu'être inférieure à cette valeur théorique. Par conséquent, ou le projectile conserve une vitesse suffisante pour

décrire une branche d'hyperbole qui l'éloignera indéfiniment de la Terre, ou il décrira une trajectoire elliptique qui le ramènera dans l'atmosphère où il sera freiné à nouveau, pour tomber finalement vers le sol.

Tout ce que nous venons de dire démontre que pour établir un satellite permanent autour de la Terre, il faut pouvoir exercer sur le projectile, au moins temporairement, un effort de propulsion lorsqu'il est hors de l'atmosphère, et de telle manière que le péri-gée de l'orbite obtenue reste aussi hors de l'atmosphère. Ceci est nécessairement imprécis, car il n'existe pas de barrière définie; à des altitudes considérables, la densité des gaz devient très faible, mais leur action à long terme demeure sensible. Aussi la plupart des satellites artificiels mis sur orbite sont-ils aujourd'hui retombés sur la Terre — c'est-à-dire qu'ils se sont volatilisés dans l'atmosphère où ils ont pénétré; ceux qui subsistent sont condamnés à un pareil sort à plus ou moins brève échéance.

L'établissement d'un satellite

Pour établir un satellite, on amènera donc l'engin à une distance de la Terre assez grande pour qu'on puisse y considérer la densité atmosphérique comme négligeable, et on le lancera alors suivant l'horizontale à une vitesse convenable. Quelle vitesse? Elle se calcule aisément, même dans le cas le plus général d'une ellipse; mais son évaluation est particulièrement simple pour une trajectoire circulaire: la force centrifuge doit équilibrer l'attraction terrestre. On trouve ainsi qu'au voisinage du sol la vitesse doit être de 7,9 km/s (cas exclus du fait de l'atmosphère). A 43 000 km, la vitesse tombe à 3 km/s; à la distance de la Lune, à 1 km/s. A chaque altitude, pour des vitesses plus faibles, on obtient des trajectoires elliptiques avec périgées plus rapprochés de la Terre que le point de lancement. Pour des vitesses plus grandes, les trajectoires s'allongent et les apogées (points les plus éloignés de la Terre) s'éloignent jusqu'au moment où la trajectoire devient parabolique, puis hyperbolique: le projectile ne revient plus. La vitesse correspondant à la trajectoire parabolique s'appelle « vitesse de libération ». Nous avons déjà vu qu'elle est de l'ordre de 11 km/s à la surface terrestre; à 13 000 km du centre de la Terre, elle est de 7,8 km/s; à la distance de la Lune, elle ne dépasse plus 1,4 km/s. Précisons bien qu'il s'agit pour ce dernier chiffre de la vitesse de libération par rapport à la Terre d'un corps qui serait placé sur l'orbite de la Lune, et non de la vitesse qu'il faudrait communiquer à un



← **LA ROTATION DE LA TERRE** fait que le satellite représenté subit à chaque révolution un décalage apparent vers l'ouest. Il survole ainsi toute une bande entre deux latitudes, nord et sud, égales à l'inclinaison de son orbite sur l'équateur terrestre.

corps placé sur la Lune elle-même pour obtenir une trajectoire parabolique avec le centre de la Lune pour foyer, c'est-à-dire en somme le libérer de notre satellite. La vitesse de libération sur la Lune est d'environ 2,4 km/s. On définirait de même une vitesse de libération à partir de la surface de tous les astres, de l'ordre de 4 km/s pour Mercure, 10,2 km/s pour Vénus, 5 km/s pour Mars, 0,015 km/s pour l'astéroïde Eros.

Altitude et durée de révolution

Mais revenons à notre satellite artificiel supposé lancé d'une altitude et avec une vitesse convenables, et qui décrit une orbite elliptique autour de la Terre, orbite dont les caractéristiques, soulignons-le, ne dépendent que des conditions initiales et nullement de la masse du satellite. Sa durée de révolution dépend de plusieurs facteurs et se calcule aisément dans le cas le plus général par une formule relativement simple. S'il s'agit d'orbites circulaires, on trouve qu'elle est de 100 mn vers 800 km d'altitude, de 2 heures vers 1 600 km, de 24 heures vers 35 500 km (42 000 km du centre de la Terre). Le satellite tourne d'autant plus lentement qu'il est plus loin. Sa vie est aussi d'autant plus longue car il traverse une atmosphère de plus en plus ténue, ce qui retarde sa retombée finale sur la Terre. Entre 300 et 400 km d'altitude, sa vie probable s'évalue en jours ou en mois; vers 800 km en dizaines d'années; vers 1 600 km en siècles; vers 35 500 km en millénaires.

Le plan de l'orbite d'un satellite passe par le centre de la Terre, de sorte que son intersection avec sa surface est toujours un grand

cercle, plus ou moins incliné sur l'équateur suivant les conditions de lancement. En première approximation ce plan est fixe dans l'espace, de sorte que, pendant que le satellite effectue une révolution, la Terre tourne d'un certain angle, d'où un décalage vers l'ouest des points survolés successivement à la même latitude. Il en résulte qu'en général le satellite va survoler complètement une ceinture de la Terre comprise entre les latitudes extrêmes sud et nord atteintes par lui, décrivant par rapport à la surface terrestre des spires qui rappellent celles d'une pelote de ficelle, sans repasser deux fois par le même point. Ces latitudes sud et nord sont égales, égales aussi à l'inclinaison de l'orbite sur l'équateur; elles ne peuvent être inférieures à la latitude à laquelle le satellite a été injecté sur son orbite.

Certaines orbites présentent des particularités remarquables. C'est ainsi qu'un satellite lancé vers l'est au-dessus de l'équateur sur une orbite circulaire à 35 500 km d'altitude paraîtra immobile puisque sa période est de 24 heures; même si on ne le lance pas rigoureusement vers l'est, comme sa période reste de 24 heures, il semblera se déplacer vers le nord puis vers le sud de l'équateur en s'écartant légèrement du méridien initial, tantôt vers l'ouest, tantôt vers l'est. Un satellite lancé au contraire suivant un angle juste suffisant pour compenser la composante de vitesse vers l'est due à la rotation de la Terre va se trouver sur une orbite survolant les deux pôles; si sa période (durée de révolution) n'est pas un sous-multiple entier de 24 heures, il balayera entièrement la surface terrestre au cours du temps.

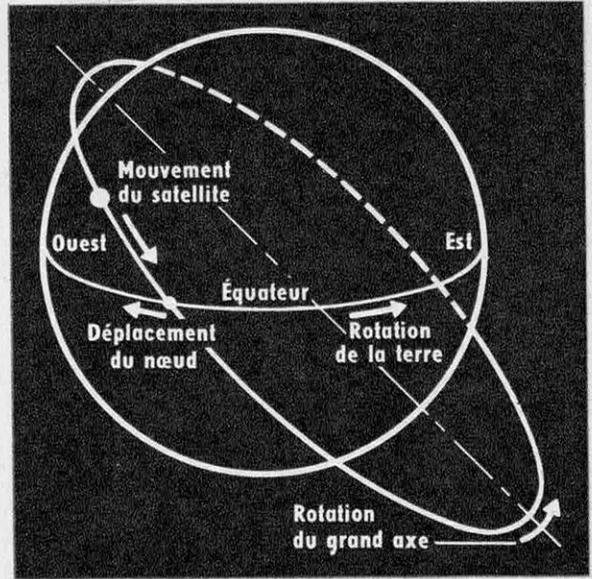
Les perturbations de l'orbite

Nous n'avons parlé jusqu'ici, en fait d'actions perturbatrices, que de celle de l'atmosphère dont le frottement absorbe de l'énergie et finit par faire retomber le satellite. Il y en a de nombreuses autres, car nous avons affaire à un système complexe comprenant la Terre, la Lune, le Soleil et les planètes, avec un satellite artificiel injecté en général sur une ellipse plus ou moins allongée (on dit d'excentricité plus ou moins grande) et plus ou moins inclinée sur l'équateur.

La plus importante tient à ce que la Terre n'est pas une sphère homogène, mais possède

LES PERTURBATIONS DE L'ORBITE sont principalement une lente rotation du grand axe de l'ellipse dans son plan et d'autre part un mouvement de précession de ce plan. Pour le satellite représenté, le « nœud » de l'orbite se meut vers l'ouest.

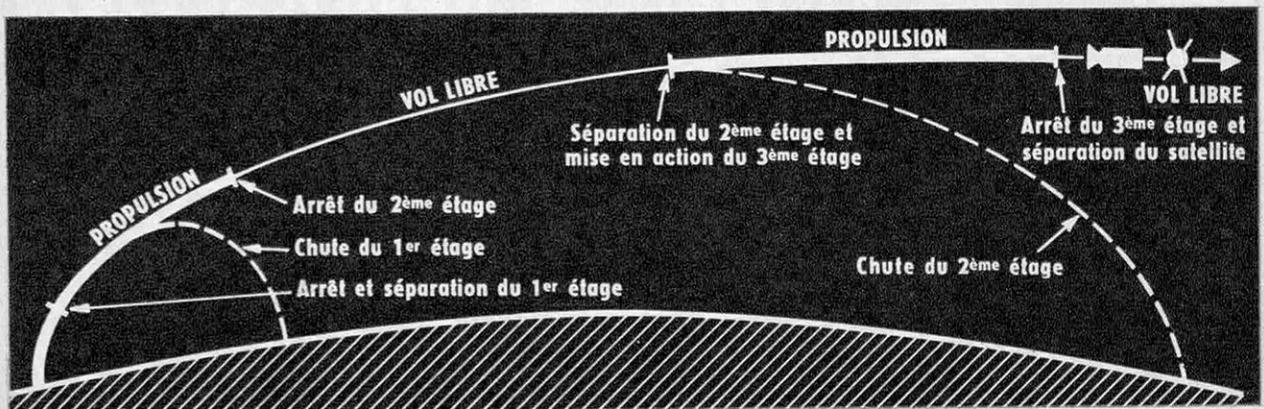
en particulier un bourrelet équatorial. Son effet principal est une lente rotation dans l'espace du plan de l'orbite, appelée mouvement de précession, à une vitesse qui dépend de l'inclinaison de ce plan sur l'équateur. On peut montrer que si on injecte le satellite sur une orbite à 83° sur l'équateur, le plan de l'orbite précessionne à une vitesse sensiblement la même que celle à laquelle le plan jour-nuit de la Terre tourne dans l'espace par suite du mouvement de la Terre autour du Soleil; en effectuant le lancement pour que le mouvement général du satellite s'effectue vers l'ouest, le plan de l'orbite précessionne vers l'est à la même vitesse que tourne le plan jour-nuit, de sorte que le satellite sera toujours visible à peu près à la même position par rapport au temps solaire local. A ce mouvement de précession s'ajoute une lente rotation du grand axe de l'ellipse. L'action de la Lune demeure faible, tout au moins tant que les périodes de révolution ne sont pas du même ordre de grandeur. Celle du Soleil, faible aussi en général, s'exercera surtout sur les orbites en dehors du plan de l'écliptique. Enfin, des effets relativistes sont possibles; on sait que la théorie de la relativité prévoit, pour les planètes, un déplacement lent de leur périhélie (point le plus proche du Soleil), effet qui n'est sensible que pour Mercure, à raison de $43''$ d'arc par



siècle; un phénomène analogue devrait se produire pour des satellites rapprochés de la Terre, avec une amplitude beaucoup plus grande : $6''$ par an avec un satellite à 3 000 km de la surface.

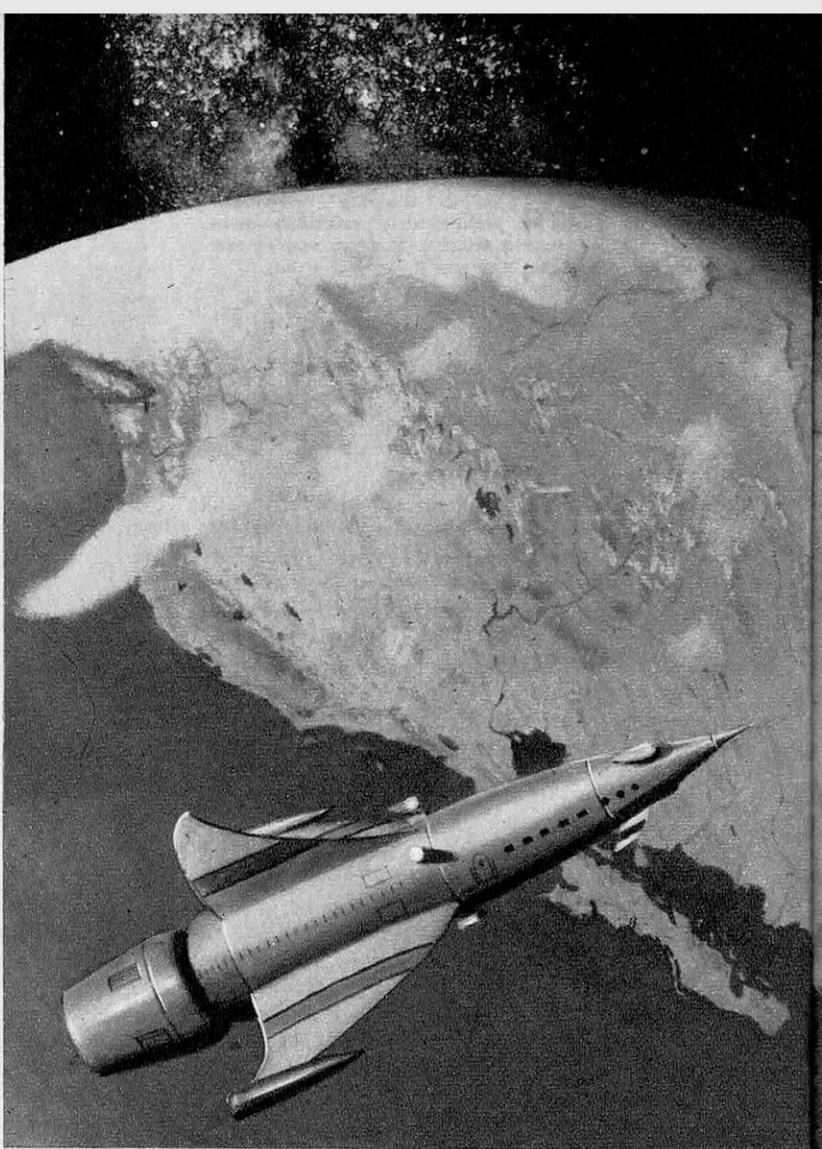
Le lancement de satellites artificiels de la Terre devait évidemment constituer la première étape de l'exploration directe de l'espace. On peut considérer dès maintenant qu'elle est acquise bien qu'on n'ait encore envoyé hors de l'atmosphère que des charges instrumentales et quelques animaux d'expérience. Ce sera incessamment le tour d'un homme en chair et en os. Alors, pour la première fois, on saura si l'organisme humain est

LE LANCEMENT D'UN SATELLITE artificiel suivant le schéma désormais classique des Vanguard américains s'effectue en plusieurs phases. Les deux premiers étages de la fusée se détachent et retombent en fin de propulsion. Le troisième donne la vitesse orbitale au satellite proprement dit et s'en sépare finalement.



Envol vers la planète Mars depuis une station-relais

CE dessin de W. House illustre le rôle que pourrait jouer un satellite artificiel dans la conquête des espaces interplanétaires en tant que station-relais. Celle-ci est représentée à 5000 km d'altitude au-dessus de l'Amérique centrale. La fusée qui la quitte y a reçu son propulseur nucléaire et sa charge de matière à éjecter, son « propulsif », apportés précédemment de la Terre à la station par des lancements successifs de fusées à propulseurs chimiques de poids modéré. Après son expédition vers et peut-être sur Mars, elle retrouvera le relais d'où l'équipage regagnera la Terre par une des fusées assurant le ravitaillement régulier.

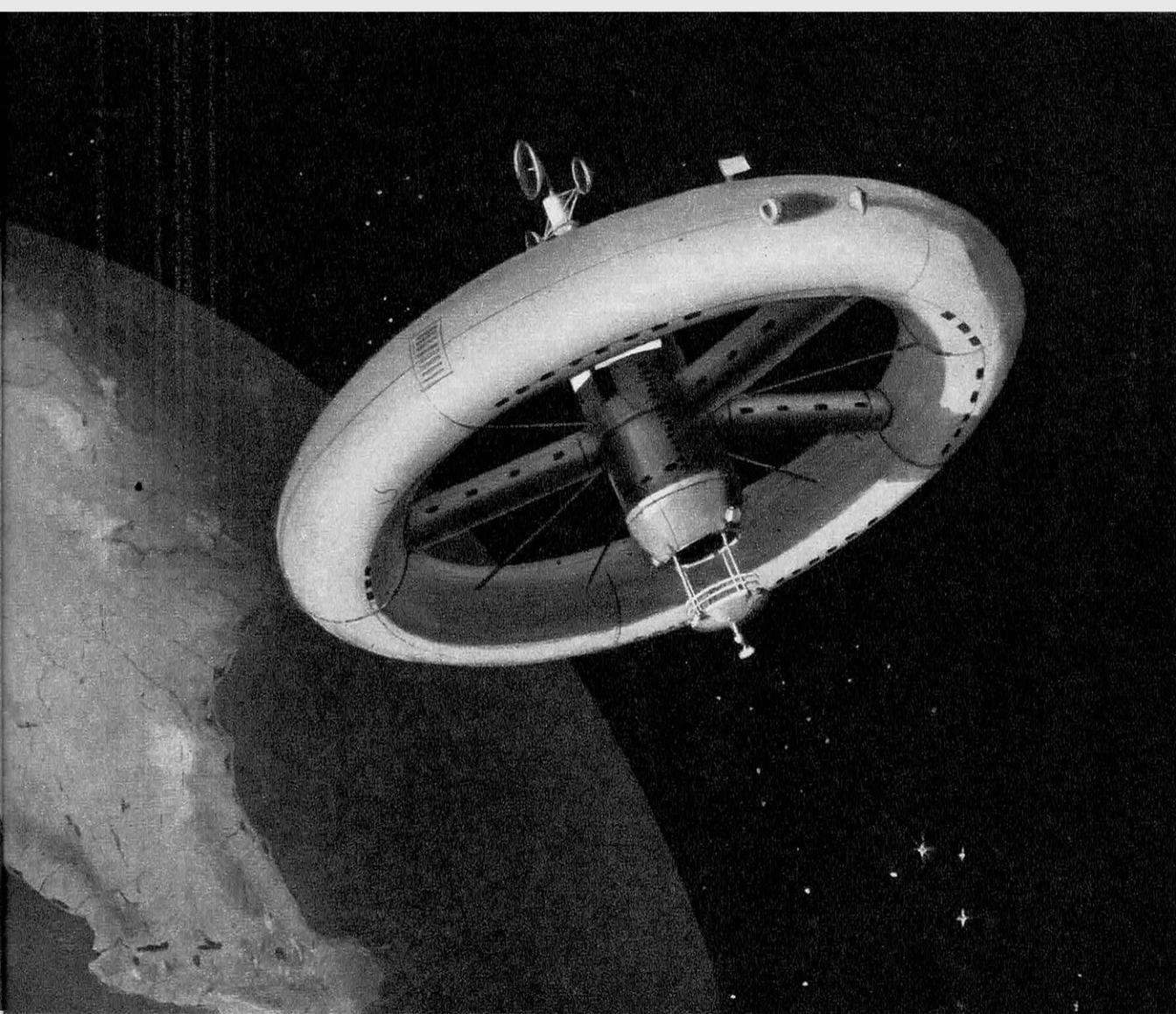


capable de supporter pendant de longues durées l'absence de toute pesanteur apparente lorsque, une fois le lancement effectué, son véhicule poursuivra sa course sans aucun effort de propulsion à travers un milieu n'offrant pas de résistance. La notion de non-pesanteur est souvent mal comprise et on retrouve là la propriété fréquemment attribuée aux satellites artificiels d'«échapper à l'attraction terrestre». Or ils n'y échappent précisément pas, sinon, au lieu de décrire une ellipse, ils iraient se perdre à l'infini en ligne droite. En réalité, un véhicule spatial non propulsé se trouve tout simplement en «chute libre» dans un champ de navigation. Toutes les forces d'origine extérieure affectent directement, simultanément, parallèlement et proportionnellement à leur masse tous les atomes qui le composent, contenu et

contenant, et n'engendrent aucune réaction mutuelle. Si l'on imaginait qu'un corps tombe dans le vide et qu'à un instant donné la pesanteur devienne brusquement cent fois plus grande, aucun effet ne serait constaté à son intérieur, malgré la très forte accélération à laquelle serait soumis le système. Il en est de même à l'intérieur d'un véhicule en mouvement sous l'action des seules forces de gravitation, tout effet d'accélération disparaît à son intérieur et il n'y existe plus de pesanteur apparente.

Ainsi en sera-t-il, non seulement à bord des satellites habités, mais aussi des véhicules que l'on enverra d'ici peu effectuer des incursions profondes dans le système solaire.

Après l'étape des satellites vient tout naturellement l'étape de l'exploration lunaire. Nous y sommes arrivés. Comment se pré-



sente donc le problème de l'envoi d'un engin à proximité ou même sur la Lune ?

Le voyage Terre-Lune

Pour éloigner un corps de la Terre, il faut accomplir un certain travail qui s'évalue en faisant le produit de la force à vaincre (la pesanteur terrestre) par la distance parcourue. On peut aussi dire qu'il faut lui communiquer au lancement, supposé au sol, une énergie cinétique égale à ce travail (nous négligeons l'atmosphère car nous ne cherchons que des ordres de grandeur). Pour l'amener, par exemple, à 250 km d'altitude, il faudra lui donner une vitesse au départ de 2,4 km/s en faisant fonctionner ses propulseurs pendant un court instant. Pour en faire un satellite à cette distance, on remettra en marche les pro-

pulseurs pour lui communiquer une nouvelle vitesse de 7,75 km/s, égale à la vitesse orbitaire (on opère différemment en pratique, comme on le voit page 11, ce qui ne change rien aux résultats théoriques). Ainsi les propulseurs auront fourni au total 10,15 km/s. C'est ce qu'on appelle la « vitesse caractéristique » pour la mission Terre-orbite à 250 km. Cette vitesse caractéristique est la somme des changements de vitesse que l'on doit opérer au cours d'une mission, notion qui se généralise aisément. Pour la mission Terre-infini, la vitesse caractéristique est de 11,2 km/s, et nous retrouvons là la vitesse de libération pour la Terre; elle n'est autre que la vitesse avec laquelle un corps abandonné à l'infini avec une vitesse nulle et tombant en chute libre arriverait à sa surface. Quelle est la vitesse pour le voyage Terre-Lune ?

Il faut donner au projectile, au départ de la Terre, une vitesse pas très inférieure à la vitesse de libération pour l'amener avec une vitesse presque nulle au point où l'attraction des deux astres s'équilibre, à quelque 40 000 km de la Lune. Au-delà, il tombe sur elle, attiré par sa masse et atteint sa surface à 2,3 km/s environ, vitesse de libération sur la Lune. Comme il n'y a pas d'atmosphère lunaire, aucun freinage aérodynamique n'est possible, et il faut mettre en action des fusées, capables de fournir cette vitesse finale et d'obtenir une prise de contact « en douceur ». La vitesse caractéristique de la mission Terre-Lune est donc $11,2 + 2,3 = 13,5$ km/s. Quant au retour, il consisterait en un lancement du sol lunaire à 2,3 km/s, suivi d'une chute libre vers la Terre. On pourrait à l'atterrissage envisager des rétro-fusées qui devraient fournir les mêmes 11,2 km/s du départ, mais on s'en passerait en utilisant le freinage par l'atmosphère sur une « capsule de rentrée » avec atterrissage final par parachute. On voit que le retour serait ainsi beaucoup plus économique que d'aller; la vitesse caractéristique pour la mission Terre-Lune et retour serait de 15,8 km/s. Il est sans doute inutile de préciser que ces chiffres sont purement théoriques.

Impact direct et alunissage

Dans la pratique, on s'efforcera évidemment de communiquer au véhicule une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de libération pour la Terre, sinon on ne le verrait pas revenir; il s'établirait sur une orbite autour du Soleil. La trajectoire, au début parfaitement elliptique, est déformée par l'attraction lunaire dès que celle-ci est assez forte. Si le véhicule ne s'approche pas trop, la déformation reste faible et le véhicule revient sans difficultés. S'il passe assez près de la Lune, il est possible que le champ de gravitation lunaire lui fasse effectuer autour d'elle un virage plus ou moins serré après lequel il entreprend le voyage de retour. Ce fut le cas de Lunik III qui a photographié la face arrière de notre satellite. Mais il peut aussi arriver que le champ gravifique lunaire l'arrache à son orbite et l'envoie se perdre loin de la Terre : l'accélération par la Lune, ajoutée à la vitesse que possède le véhicule, peut lui donner une vitesse d'échappement définitif.

Si l'on cherche à atteindre effectivement le sol lunaire, deux méthodes peuvent être envisagées. La première est l'impact direct, tel celui de Lunik II; mais si l'on veut que les instruments résistent au choc, et a fortiori un équipage éventuel, un freinage par fusée

est indispensable dans la phase ultime du vol. La seconde consiste à faire d'abord du véhicule un satellite lunaire: comme il arrive toujours au voisinage de la Lune avec une vitesse hyperbolique, c'est-à-dire supérieure à la vitesse de libération pour la Lune, il faudra, au point d'approche minimum, mettre en action une fusée de freinage dont la poussée s'exercera en sens inverse du mouvement et parallèlement à la surface. On obtiendra ainsi une orbite elliptique autour de la Lune. Des freinages supplémentaires transformeront cette orbite en orbite circulaire rasante, puis feront tomber le satellite vers le sol; enfin, un dernier freinage assurera une prise de contact en douceur. Cette dernière méthode permettrait d'effectuer des ajustements progressifs, mais exigerait la mise en marche et l'arrêt des fusées de freinage à plusieurs reprises et serait très coûteuse en propulsif. Aussi préférera-t-on sans doute la première méthode, au moins au début.

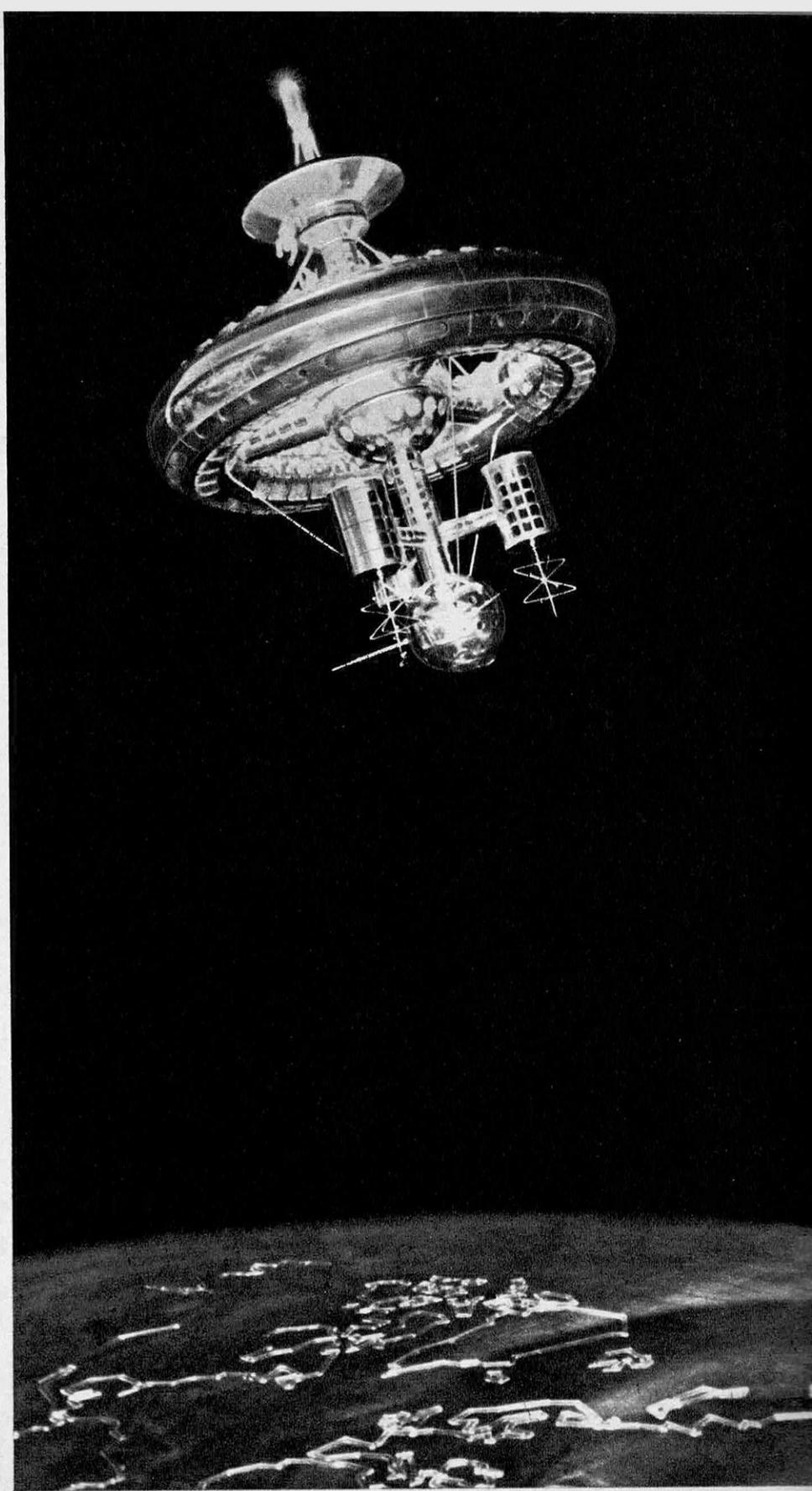
De toute façon, il faut bien viser pour atteindre la Lune. C'est une cible assez importante puisqu'elle mesure 3 400 km de diamètre; mais elle se trouve à près de 400 000 km et se déplace à 3 500 km/h. La moindre erreur au départ, tant sur la vitesse que sur l'angle de lancement, entraîne une grande imprécision du tir. La tolérance angulaire est de quelques degrés pour des vitesses voisines du minimum nécessaire, qui correspondent à une durée de parcours de 5 jours. Elle tombe à quelques dizaines de minute d'arc pour des trajectoires tendues parcourues en moins d'un jour. En vitesse initiale, les tolérances ne dépassent pas un pour mille. Il est manifeste qu'il faudra, lorsqu'on enverra des véhicules portant une charge aussi précieuse qu'un équipage humain, pouvoir corriger la trajectoire au cours du vol et assurer un guidage terminal, ne fût-ce que pour choisir l'emplacement convenable pour se poser sur le sol lunaire en évitant les pics et les précipices.

Les voyages interplanétaires

Le voyage aux planètes ne soulève pas de problèmes théoriques très différents de ceux rencontrés jusqu'ici. Ce sont toujours les lois de la mécanique céleste qui régissent les mouvements. Les astronefs, dans le champ gravifique du Soleil cette fois, vont parcourir des trajectoires analogues à celles des planètes et des comètes. Il s'agit naturellement de vol libre, sans autopropulsion, c'est-à-dire sauf pendant les périodes où les propulseurs sont en action; elles sont généralement très courtes, de l'ordre de quelques minutes pour aller en un point quelconque du système

Un modèle de station spatiale

TELLE est la maquette réalisée pour l'Exposition Nationale permanente de Moscou, montrant un satellite artificiel de la Terre doté des installations les plus variées. Ici l'imagination s'est donnée vraiment libre cours, prévoyant des laboratoires et ateliers servis par un personnel nombreux dont le ravitaillement régulier imposerait de lourdes servitudes. La construction de la station elle-même exigerait un nombre de lancements difficile à évaluer et une telle entreprise serait manifestement peu rentable. Aussi ne faut-il voir là qu'une audacieuse et fantaisiste anticipation.



solaire, sauf si l'on envisage des propulseurs spéciaux comme les fusées ioniques. Les trajectoires seront donc en général des ellipses, avec le Soleil pour foyer, et lorsqu'on voudra passer d'une trajectoire à une autre, il suffira de faire varier la grandeur et non la direction de la vitesse, à condition cependant que les deux trajectoires soient dans le même plan, ce que nous supposons pour commencer.

Le schéma général, très simplifié, d'un voyage interplanétaire, sera le suivant. Il faut d'abord quitter la Terre et pour cela acquérir une vitesse voisine de la vitesse de libération pour la Terre; à ce moment l'astronef se meut autour du Soleil pratiquement sur l'orbite terrestre qu'il faut quitter pour atteindre l'orbite de la planète visée. On sait depuis longtemps que la trajectoire d'énergie minimum est une demi-ellipse tangente aux deux orbites (que nous supposons circulaires pour simplifier); c'est ce que l'on appelle une ellipse de transfert ou ellipse de Hohmann. On communique à l'astronef un supplément de vitesse qui donne une ellipse extérieure qui conduit à une planète supérieure, comme Mars, ou bien une réduction de vitesse qui donne une ellipse intérieure conduisant à une planète inférieure, comme Vénus. Parvenus sur l'orbite de la planète visée il faudra accélérer ou freiner pour égaliser la vitesse de l'astronef et celle de

Le vol à la Lune de Lunik III

La trajectoire de lancement a été, d'après les Russes, calculée de telle sorte qu'après la déflexion de l'engin par l'attraction lunaire, l'orbite de retour aborde la Terre par l'hémisphère nord, ceci afin que les stations russes puissent recevoir facilement les émissions télévisées des photographies prises derrière la Lune. Le dessin montre que le plan de l'orbite elliptique très allongée où se trouve maintenant l'engin n'est pas le même que celui du lancement. L'orbite est fortement perturbée par le Soleil de sorte que Lunik III aura une vie assez courte.

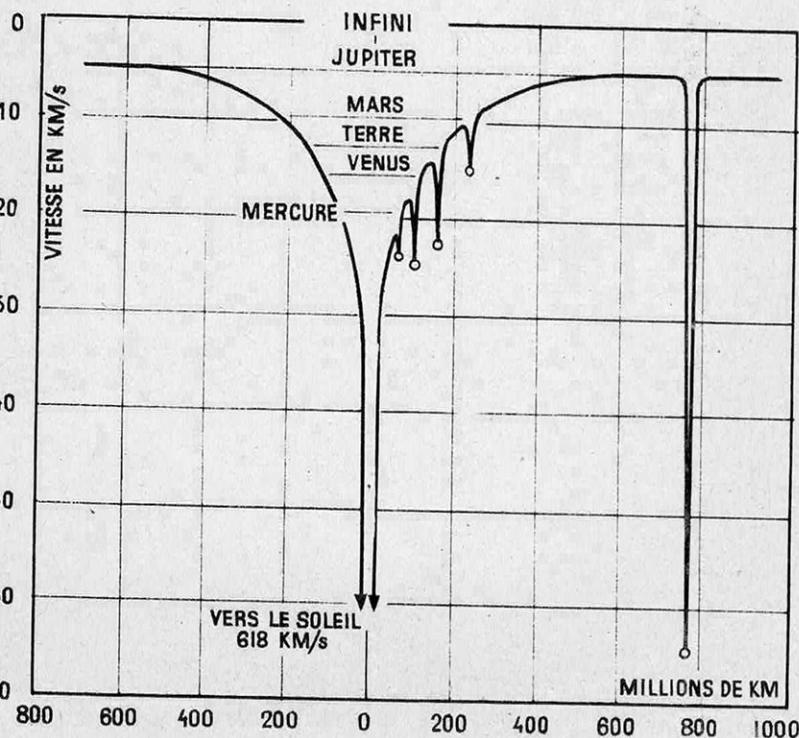
Plan de lancement de Lunik III

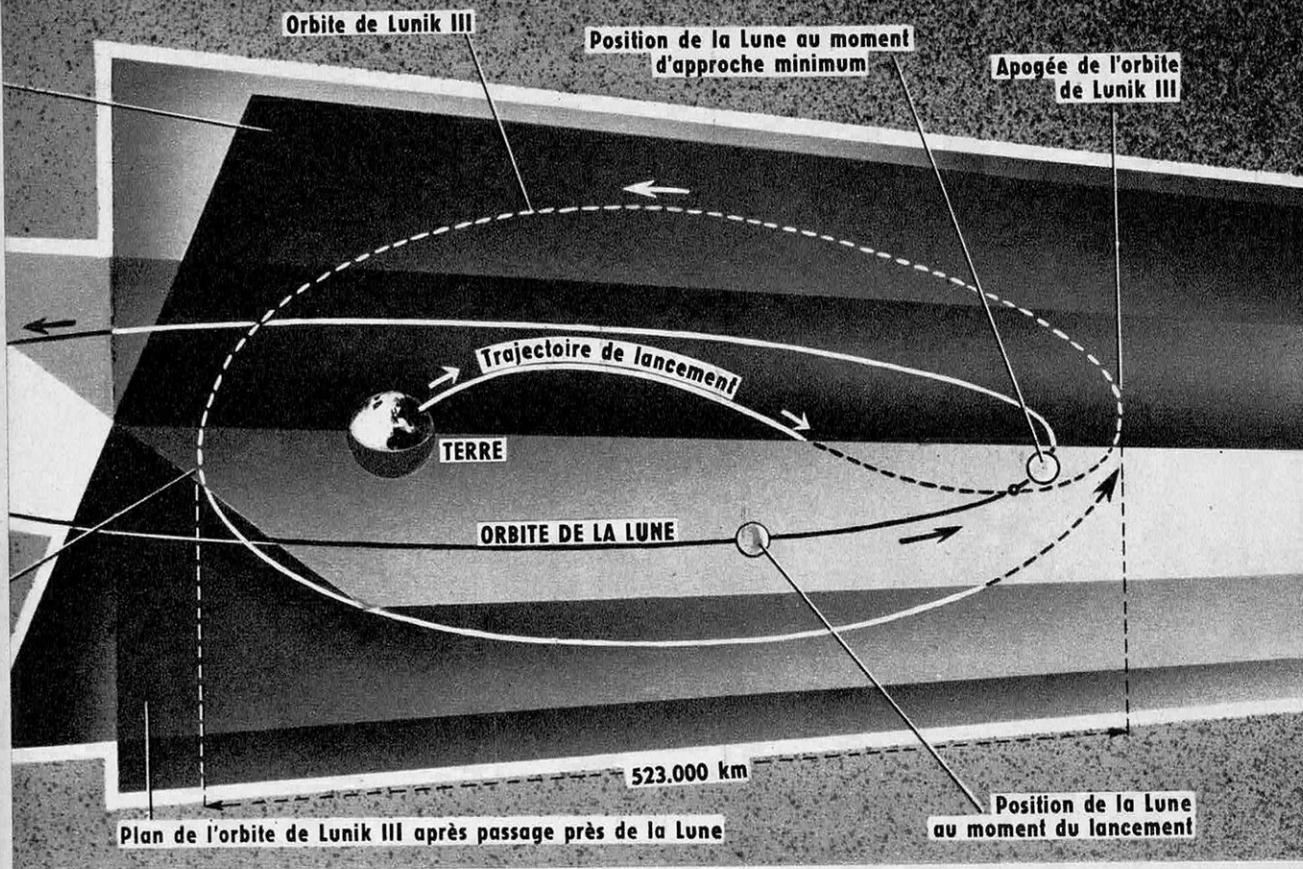
Plan de l'orbite lunaire

Périgée de l'orbite de Lunik III

Les « puits » gravifiques

SUIVANT une représentation commode due à A.C. Clarke, ce graphique donne une idée des difficultés à surmonter pour passer d'une planète à une autre, la profondeur de chaque puits étant fonction de la vitesse de libération correspondant à chaque planète. On constate ainsi qu'entre le champ gravifique de la Terre et celui du Soleil, il n'y a pas de différence de nature mais d'intensité. Cette différence est en fait très grande puisque, de 11,18 km/s pour la Terre, on passe à 618 km/s pour le Soleil, vitesse qui diminue d'ailleurs rapidement avec la distance comme l'indique la partie gauche du graphique.





la planète. Enfin, pour accoster, il faudra donner une impulsion correspondant à la vitesse de libération de la planète, à moins que l'on puisse pratiquer un freinage aérodynamique dans son atmosphère.

Vers Vénus et vers Mars

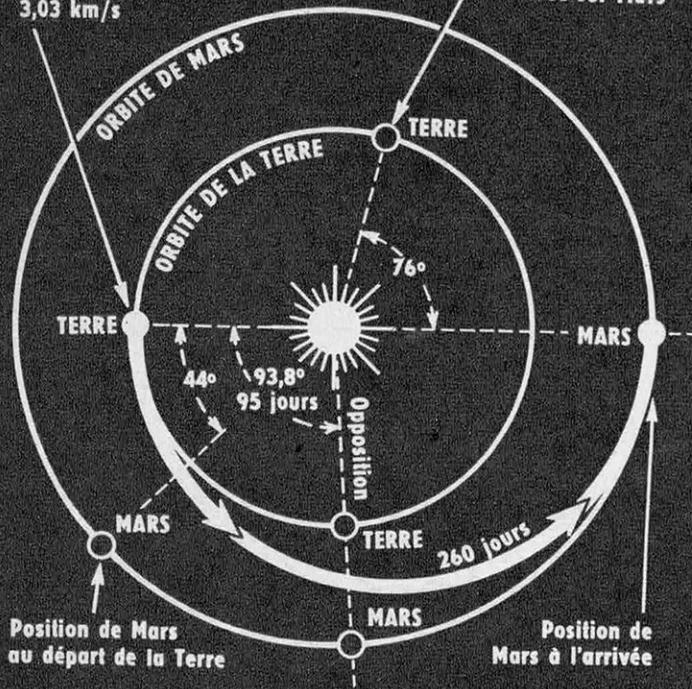
Bornons-nous à Vénus et à Mars, les planètes les plus proches et probablement les seules pratiquement intéressantes pour les humains. Vénus, la Terre et Mars tournent autour du Soleil dans la même direction. Vénus, plus proche du Soleil, a une période de révolution plus courte que la Terre tandis que celle de Mars, plus éloigné du Soleil, est plus longue. Aussi la Terre rattrape-t-elle périodiquement Mars et est-elle rattrapée périodiquement par Vénus. Quand Mars et la Terre sont du même côté du Soleil et alignés sur lui, ils sont dits en « opposition », ce qui se produit tous les 2 ans 2 mois. Quand la Terre et Vénus sont du même côté du Soleil et alignés sur lui, ils sont en « conjonction inférieure », ce qui se produit tous les 1 an 7 mois. Contrairement à ce que l'on

pourrait croire, ces occasions ne sont pas les plus favorables pour un voyage, car il faudrait une dépense d'énergie de beaucoup supérieure à celle qui est nécessaire pour une ellipse bitangente de Hohmann.

Le voyage à Vénus et à Mars a été étudié en particulier par l'Américain Warren H. Staley de l'Army Ballistic Missile Agency, avec quelques hypothèses simplificatrices, comme de supposer les orbites des planètes circulaires et dans le même plan. Pour aller sur Mars, l'astronave, après avoir quitté la Terre, recevra au lancement, effectué dans le sens de la révolution de la Terre autour du Soleil, et tangentiellement à son orbite, un supplément de vitesse de 3,03 km/s, de manière à décrire dans le champ gravifique solaire une ellipse allongée qui le portera sur l'orbite de Mars lorsqu'il arrivera à l'autre extrémité du grand axe. En ce point, il sera rattrapé par Mars dont la vitesse dépassera la sienne de 2,55 km/s. Le voyage aura duré 260 jours. On voit sur la figure page 18 que la Terre et Mars se seront trouvés en opposition dans l'intervalle, 95 jours après le lancement. On en déduit que les

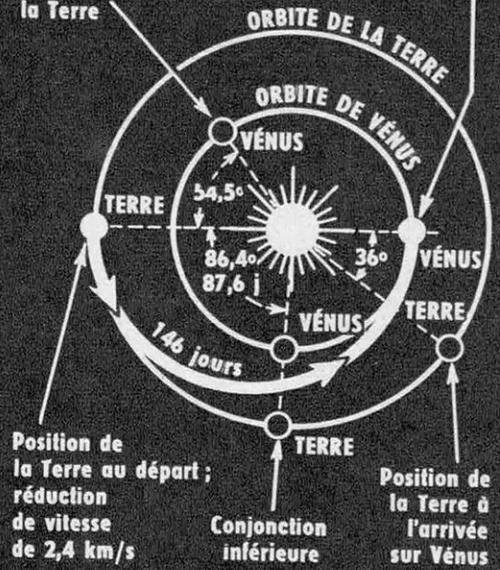
Position de la Terre au départ ;
supplément de vitesse de
3,03 km/s

Position de la Terre à
l'arrivée sur Mars



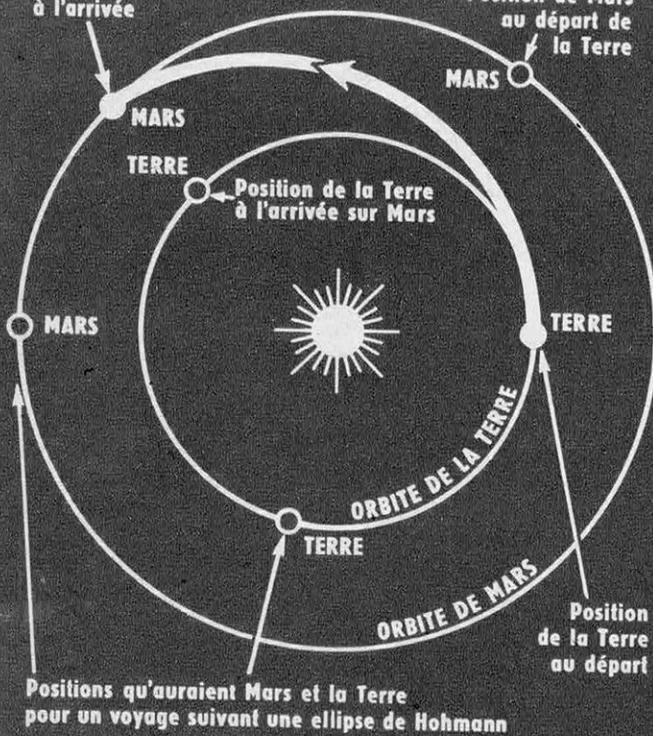
Position de
Vénus à l'arrivée ;
réduction
de vitesse
de 2,5 km/s

Position de
Vénus au
départ de
la Terre



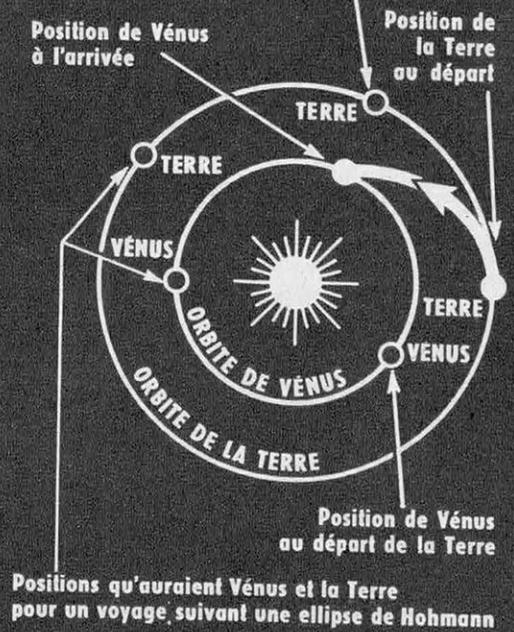
Position de Mars
à l'arrivée

Position de Mars
au départ de
la Terre



Position de la Terre
à l'arrivée sur Vénus

Position de Vénus
à l'arrivée



Mars et Vénus par ellipses de transfert

Appelées aussi ellipses de Hohmann, ce sont des trajectoires elliptiques parcourues en vol libre. On quitte la Terre suivant la tangente à son orbite avec, pour Mars, une impulsion d'accélération et, pour Vénus, une impulsion de freinage; on arrive aussi sur l'orbite de la planète visée suivant la tangente et on donne alors à l'astronave l'impulsion convenable pour égaliser les vitesses. Le voyage de retour, après un séjour d'attente obligatoire sur la planète, s'effectuerait avec des manœuvres tout à fait semblables.

seules dates convenant à une telle opération sont 95 jours avant une opposition des deux astres, c'est-à-dire, d'après les éphémérides : 25 septembre 1960, 16 octobre 1962, 9 novembre 1964, etc.

Supposons maintenant que nous envisagions le voyage de retour. Il faudra, au départ de Mars, ralentir le véhicule de 2,55 km/s par rapport à la planète pour l'embarquer sur une ellipse qui le ramènera sur l'orbite terrestre où il rattrapera la Terre avec un excédent de vitesse de 3,03 km/s. Mais l'opération ne réussira que si la date a été bien choisie; un calcul simple, dont nous ne donnons pas le détail, montre qu'une fois arrivé sur Mars, le véhicule devra y rester 449 jours avant de repartir. La durée d'un voyage aller et retour sera donc de 970 jours, près de 2 ans 8 mois, dont deux fois 260 jours à travers l'espace interplanétaire et 449 jours sur Mars.

Le voyage à Vénus, envisagé d'une manière analogue et tel que la figure ci-contre le schématise, conduirait aux résultats suivants : temps passé sur une demi-

L'arrivée au plus près de la Terre

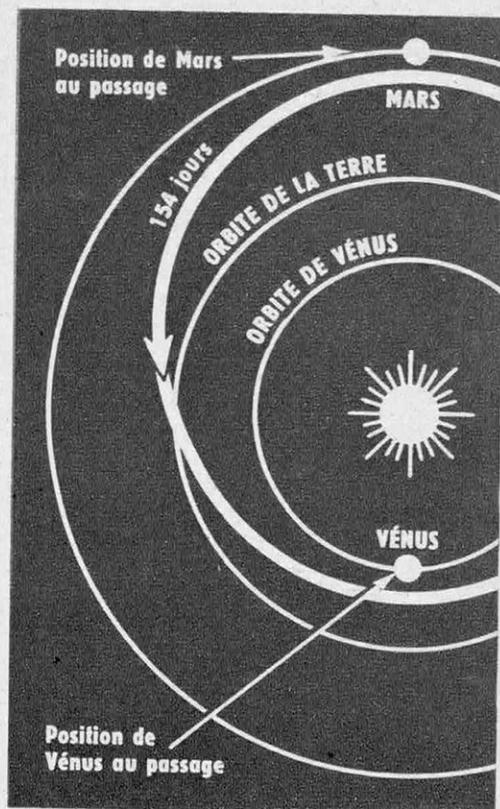
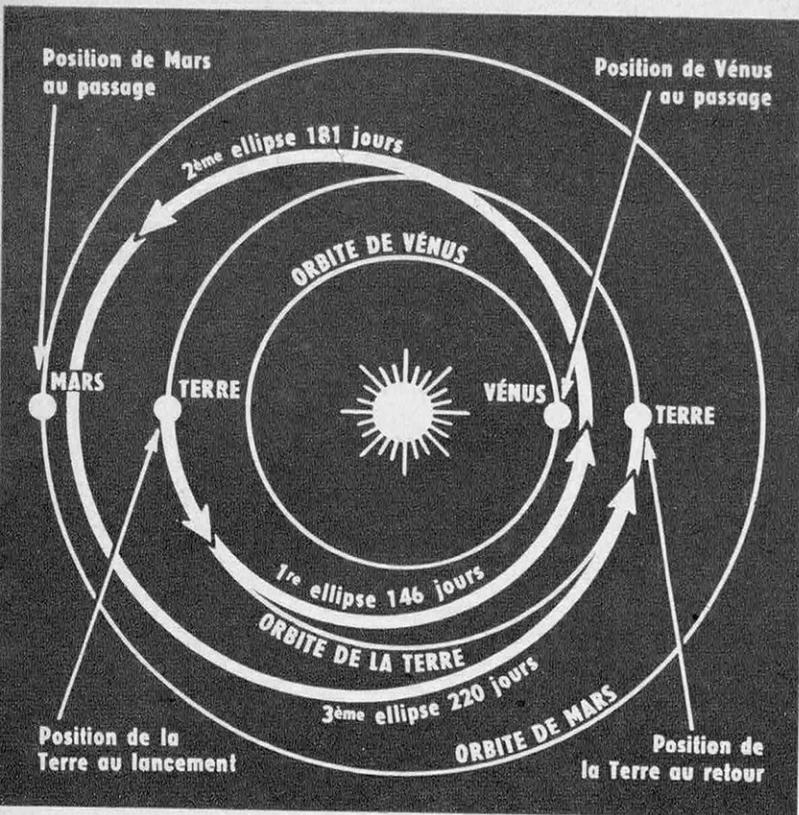
Les trajectoires sont encore elliptiques et tangentes à l'orbite de la Terre, mais elles ne le sont plus aux orbites de Mars et Vénus. Leur avantage tient à ce que, lors de l'arrivée sur la planète visée, celle-ci se trouve à son minimum de distance de la Terre, ce qui facilite les observations optiques directes et les transmissions par radio. La durée du voyage peut varier; elle est d'autant plus réduite que l'impulsion accélératrice pour Mars ou le freinage pour Vénus, au départ de l'orbite terrestre, est plus forte.

ellipse, 146 jours date de lancement, 88 jours avant une conjonction inférieure (10 janvier 1961, 17 août 1962, 23 mars 1964, etc.); séjour d'attente sur Vénus avant retour, 460 jours; durée du voyage aller et retour, 750 jours.

Les vitesses caractéristiques pour lancer un projectile sur Vénus et sur Mars par des ellipses de Hohmann sont du même ordre et il serait aussi facile (ou difficile) d'atteindre l'une que l'autre. Mais l'opération ne présente d'intérêt scientifique que si le véhicule peut effectuer des mesures et en envoyer les résultats aux observateurs terrestres. Les conditions de ces transmissions sont bien différentes dans les deux cas. Lors des oppositions les plus favorables, 55 millions de kilomètres nous séparent de Mars et lors des conjonctions inférieures de Vénus la distance minimum est de l'ordre de 42 millions de kilomètres. Il faudra donc pour Mars des émetteurs plus puissants que pour Vénus, ce qui impose des servitudes pour leur alimentation. Il est naturel de songer à utiliser des piles solaires pour capter l'énergie que fournit gratuitement le Soleil; mais si Vénus est plus proche du Soleil que la Terre, Mars en est plus éloigné, et, par unité de surface des piles, l'énergie reçue décroît rapidement avec la distance (en raison inverse de son carré). Le poids de ces piles pour l'expédition vers Mars devient prohibitif pour un fonctionnement continu des émetteurs. Warren H. Straly a calculé qu'en utilisant de telles piles pour la recharge de batteries chimiques et en limitant les durées d'émission à 1/50 du temps de vol, on pouvait réduire considérablement le poids des auxiliaires et que la charge utile du véhicule pouvait ne pas dépasser 100 kg pour le voyage à Mars et à 35 kg pour Vénus, tous instruments compris. Ces poids sont parfaitement admissibles dans l'état actuel de la technique des fusées.

Autres formules pour les voyages à Mars et Vénus

A considérer les figures de la page ci-contre, en haut, on constate que les orbites de Hohmann ne sont pas, tout compte fait, tellement avantageuses. Elles n'exigent certes que l'énergie minimum, mais ne facilitent pas la transmission des observations au moment où elles sont le plus intéressantes, c'est-à-dire lorsque le véhicule est près de la planète visée, car il l'atteint alors que la Terre en est très éloignée. Il serait préférable d'adopter des trajectoires telles que celles des figures du bas, où on voit le véhicule atteindre les planètes lorsque



la distance Terre-Mars ou Terre-Vénus est minimum.

Les théoriciens ont proposé des formules plus compliquées et subtiles qui permettraient d'explorer, avec un seul véhicule spatial, les abords de Mars et de Vénus au cours d'un seul voyage, avec retour à la Terre. Nous n'indiquerons que deux solutions, l'une due à Hohmann, l'autre à Crocco.

La première, indiquée ci-dessus, est assez onéreuse en énergie : départ de la Terre en freinant pour que le véhicule passe sur une orbite bitangente l'amenant vers Vénus, accélération à son voisinage pour passer sur une ellipse bitangente à la fois aux orbites de Vénus et de Mars, nouvelle accélération au voisinage de Mars pour revenir tangentiellement sur l'orbite de la Terre avec freinage final : durée totale 347 jours.

La seconde n'exige pas autant de manœuvres intermédiaires, le véhicule étant installé dès le départ sur une orbite autour du Soleil qui, partant de la Terre (non tangentiellement à son orbite) passe près de Mars, puis de Vénus et revient à la Terre. On comprend sans peine qu'il est assez rare que les trois astres se trouvent dans des positions adéquates. Il se trouve que la solution Crocco

sera réalisable en 1971. Il faudra 75 ans pour que la configuration se retrouve.

Vers Mars « à la voile »

Une autre solution, très originale, a été proposée par le Dr T. C. Tsu, des Westinghouse Research Laboratories. Elle prévoit un vol en ligne droite vers Mars, donc un vol propulsé puisqu'une trajectoire en vol libre ne peut être qu'elliptique. L'idée est que la propulsion, continue, n'aurait à fournir qu'une faible accélération, juste suffisante pour équilibrer en tout point l'attraction du Soleil. Le départ aurait lieu quand Mars et la Terre sont du même côté du Soleil et peu avant que la Terre rattrape Mars, quand elle s'en trouve à 170 millions de kilomètres. On commencerait par donner à l'astronef la vitesse de libération par rapport à la Terre, puis on lui appliquerait une accélération dans la direction opposée à celle du Soleil, égale à son attraction, c'est-à-dire de $1/1600$ de g . Le véhicule prendrait alors la tangente à l'orbite terrestre avec une vitesse sensiblement égale à celle de la Terre sur son orbite, soit 30 km/s. Au cours du voyage, l'astronef s'éloignant du Soleil, l'effort de propulsion



Deux planètes en un voyage

A gauche, la solution proposée par Hohmann, qui envisage trois ellipses bitangentes successives, l'une de l'orbite de la Terre à celle de Vénus, l'autre de Vénus à Mars, la dernière ramenant de Mars à la Terre. Trois phases de propulsion sont nécessaires. Une seule suffit au départ avec la solution Crocco, à droite, départ qui ne s'effectue pas suivant la tangente à l'orbite terrestre. L'ellipse unique est parcourue en vol libre. Dans les deux cas, la date du départ ne peut être prise au hasard et les configurations favorables des astres sont rares.

décroîtrait. Le trajet Terre-Mars serait accompli en 67 jours (au lieu de 260 par l'ellipse bitangente). La propulsion s'effectuerait par fusée ionique, mais le Dr Tsu voit là un cas auquel pourrait convenir le principe de la « voile solaire ». Il s'agit effectivement d'une voile, non pas gonflée par le vent, absent dans le vide, mais recevant et renvoyant parfaitement les rayons du Soleil et donc poussée par la pression de radiation. Le calcul montre, paraît-il, qu'une telle voile se propulserait elle-même, sans charge utile, dans les conditions du voyage à Mars définies ci-dessus, si on donnait au matériau qui la constitue une densité unité (celle de l'eau sur la Terre) et une épaisseur de 1,5 millième de millimètre. Si elle doit traîner une charge utile, il suffit de réduire encore son épaisseur, ce qui ne semble pas présenter de difficultés pour le Dr Tsu. Il est certain en tous cas que ce serait le mode de propulsion le plus économique.

De quelque manière qu'on l'envisage, le voyage aux planètes, d'apparence simple, se heurte à d'énormes difficultés pratiques. De toutes petites erreurs au départ entraîneront à l'arrivée des écarts considérables. D'ailleurs les éléments mêmes du lancement ne peuvent être actuellement connus avec assez de préci-

sion pour que l'on s'en remette uniquement aux lois de la mécanique céleste. L'unité de distance dans le système solaire, appelée unité astronomique, à partir de laquelle sont évaluées toutes les autres, est la distance moyenne de la Terre au Soleil; on ne la connaît qu'à 0,02 % près, de sorte que la distance de Vénus à sa position la plus proche de la Terre n'est connue qu'à 8 000 km près, ce qui est loin d'être négligeable.

D'autre part, les orbites des planètes ne sont pas dans le même plan; l'écart est assez faible, mais Vénus peut s'écarter de ce fait à 6,4 millions et Mars à 8 millions de kilomètres du plan de l'écliptique. Il sera donc nécessaire de corriger la trajectoire au prix d'une importante dépense de propulsif.

Reste le problème de la manœuvre à effectuer à l'arrivée, lorsque l'astronef atteint la planète visée à vitesse hyperbolique et qu'il faut déclencher judicieusement les fusées de freinage. Radars et calculateurs électroniques s'y évertueront et il faudra leur faire entière confiance, sauf si un pilote dirige la manœuvre à bord, ce qui n'est pas pour demain. La commande à distance des rétro-fusées à partir de la Terre paraît bien délicate car les ordres transmis par radio mettront plusieurs minutes pour arriver à destination.

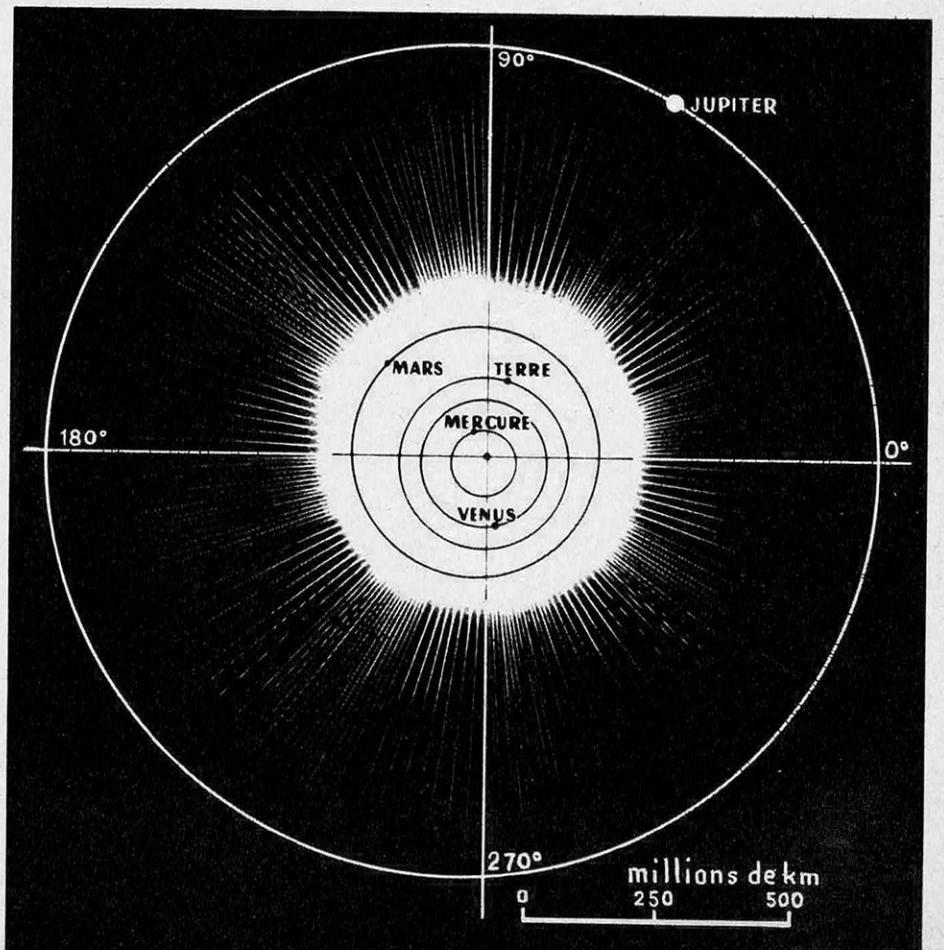
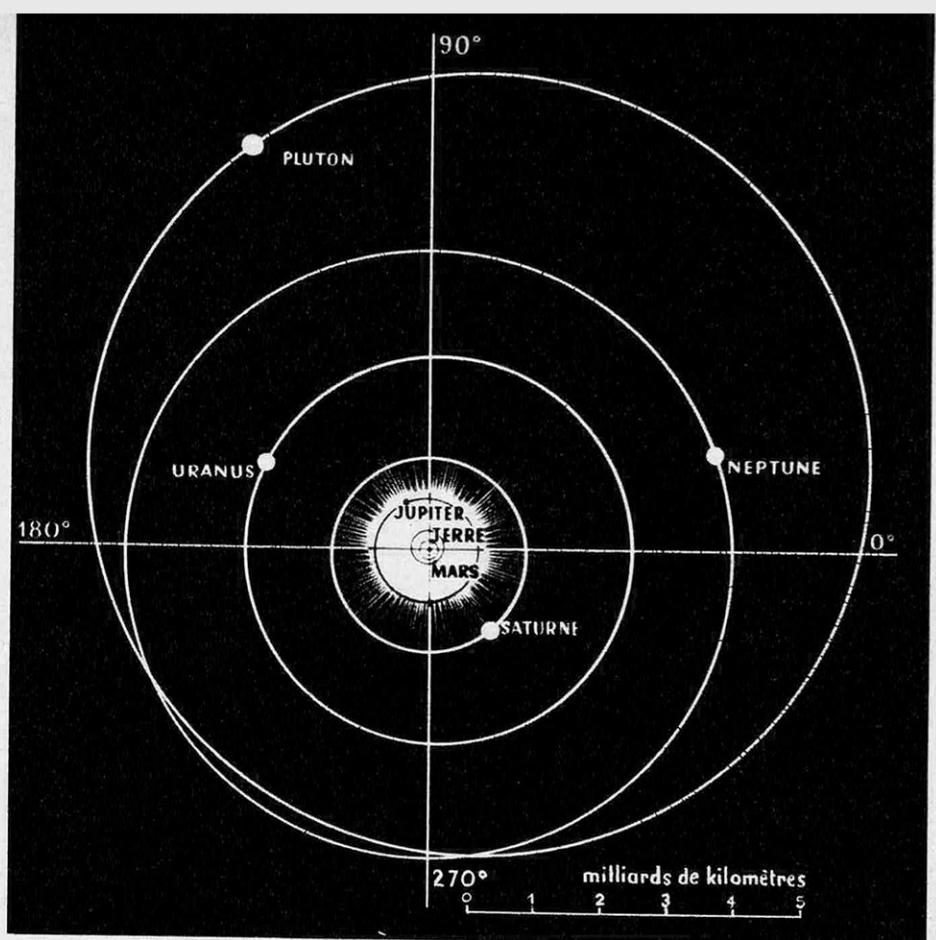
L'homme conquérant des planètes

Toutes les spéculations astronautiques sont permises depuis que les techniciens ont réussi non seulement à placer sur orbites des satellites artificiels destinés à retomber tôt ou tard sur le sol terrestre, mais aussi depuis qu'ils ont lancé à travers le système solaire des engins définitivement perdus. L'homme a trouvé assez de force pour arracher de la Terre qui le porte une partie de sa masse. Après des millions d'années où il est demeuré observateur passif du spectacle des cieux, il crée des Lunes et des planètes, en attendant d'exploiter les richesses qu'il suppose sur les astres voisins. Un des projets les plus fascinants est certes celui du professeur américain Fritz Zwicky qui préconise pour Mars et Vénus des changements d'orbites afin de les amener dans des positions où ils répondent mieux aux besoins de colonisation de l'humanité: Mars plus près du Soleil, et Vénus plus loin, en appliquant des poussées dans des directions et à des moments convenables. Apprendrons-nous bientôt qu'on commence à stocker dans ce but des bombes H sur Mars ou sur Vénus?

J.-P. HIERSAC

Le Soleil et son cortège de planètes

Si l'on excepte Pluton, assez récemment découvert, mal connu et dont la masse est voisine de celle de la Terre, les planètes les plus éloignées du Soleil sont de grandes dimensions et de faible densité. Parmi les plus proches, Mercure est de dimensions comparables à celles de notre Lune. Mais ce sont surtout Vénus et Mars qui retiennent l'attention des astronautes parce que ces planètes sont nos voisins immédiats et que leurs dimensions et leurs masses sont du même ordre que pour la Terre. Cependant les conditions physiques à leur surface sont, surtout pour Vénus, bien différentes de celles que nous connaissons.



Ce que nous connaissons de NOTRE MONDE SOLAIRE

JUSQU'ICI, les hommes n'ont réussi à explorer directement ni notre satellite, la Lune, ni aucune des planètes lointaines. Mais les observations de ces astres ont fourni une foule d'informations, plus ou moins précises, que nous allons résumer.

Par mesure de leurs positions, on a déterminé leurs orbites et leurs mouvements de sorte que l'on connaît, à un moment quelconque, leurs distances au Soleil ou à la Terre. Lunettes et télescopes ont montré les détails de leurs surfaces, au moins pour les planètes les plus proches, et permis de mesurer les dimensions de ces détails. La spectroscopie a révélé la composition de leurs atmosphères; des mesures très délicates, au moyen de radiomètres, ont indiqué la température de leurs sols; etc.

Avant de passer en revue les planètes, remarquons qu'elles se séparent en deux classes nettement distinctes. Les plus rapprochées du Soleil (Mercure, Vénus, la Terre et Mars) sont du type terrestre : elles sont relativement petites, ont une faible masse (pour la plus massive des quatre, la Terre, un trois cent trente millièmes de la masse du Soleil), une rotation assez lente, une densité moyenne largement supérieure à celle de l'eau (3,85 à 5,5 fois). Les grosses planètes (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) ont des dimensions bien supérieures, une masse bien plus grande (pour Jupiter, 318 fois celle de la Terre), un mouvement de rotation très rapide (la période de

rotation de Jupiter est 9 heures 50 minutes), une densité moyenne bien plus petite (0,71 par rapport à l'eau pour Saturne). Elles contiennent une forte proportion d'éléments légers, en particulier d'hydrogène.

Notre satellite : la Lune

De tous les corps célestes, la Lune est le plus proche de nous. Sa distance est en moyenne de 384 000 km; elle varie entre 356 300 et 406 600 km. On détermine cette distance par une mesure trigonométrique directe, en visant un détail de la surface de deux points éloignés, par exemple Berlin et le Cap.

Le diamètre de la Lune vaut 0,27 fois celui de la Terre. Le rapport de sa masse à celle de la Terre est $1/81,5$. On en déduit que sa densité moyenne est 3,36, tandis que celle de la Terre est 5,52. On calcule aussi que la gravité à la surface du sol lunaire est 6 fois plus faible que sur la Terre.

La Lune présente, on le sait, toujours la même face vers la Terre. Cela ne veut pas dire que la Lune ne tourne pas sur elle-même; elle tourne autour d'un axe qui fait un angle de 84° avec le plan de son orbite et sa période de rotation est exactement égale à la période de sa révolution autour de la Terre, 27,3 jours. En ce laps de temps, la Lune fait un tour complet sur elle-même par rapport aux étoiles. Pour qu'elle fasse un tour complet par rapport au Soleil, il faut un temps un peu

plus long, 29, 5 jours, en raison du déplacement de la Lune.

Ce n'est pas par l'effet d'une coïncidence fortuite que les périodes de rotation et de révolution de la Lune sont les mêmes. On retrouve une concordance analogue pour le mouvement de la planète Mercure — et peut-être aussi de Vénus — autour du Soleil, ou encore pour celui des quatre principaux satellites de Jupiter. L'attraction de la Terre a exercé sur la Lune des forces de marée, qui l'ont déformée; cette déformation a freiné la rotation, jusqu'au moment où s'est réalisée l'égalité des périodes.

Aucun détail visible mesurant moins de 100 m

C'est en 1609 que Galilée observa pour la première fois les détails de la Lune avec une lunette. Il affirma que la Lune était un monde analogue à celui que nous habitons, pourvu de montagnes et de mers. Pendant longtemps, on a cru, après lui, que les grandes taches sombres étaient des mers, réellement remplies d'eau, et on leur donna des noms en conséquence. Il n'est pas sans intérêt de rappeler que, malgré les progrès scientifiques, ces croyances ont retrouvé, de temps à autre, la faveur du public.

Les détails les plus fins perceptibles dans une lunette sont déterminés par le pouvoir séparateur de cet instrument; ce dernier dépend du diamètre de l'objectif ou du miroir. Avec l'instrument le plus puissant du monde, le télescope géant de 5 m de diamètre du Mont Palomar, on devrait séparer deux points distants de 50 mètres à la surface de la Lune. Mais l'agitation atmosphérique ne permet pas d'atteindre ce pouvoir séparateur théorique et les plus fins détails perceptibles mesurent au moins 100 m. Et encore ! On distingue une rainure ou une crevasse rectiligne ayant cette largeur. S'il s'agit d'un petit cratère, d'un pic isolé, on ne l'aperçoit que si ses dimensions sont au moins deux ou trois fois plus grandes.

Rappelons que la visibilité des détails sur le sol lunaire dépend beaucoup de leur éclairage. Au moment de la pleine Lune, les rayons du Soleil tombent perpendiculairement sur la face tournée vers nous; les montagnes, les cratères, les rocs isolés n'ont donc pas d'ombre. Or ce sont ces ombres qui nous révèlent le relief du sol et nous permettent d'évaluer les différences d'altitude. Ce relief apparaît donc beaucoup mieux en lumière rasante. Par contre les traînées divergeant de certains cirques, tels que Tycho, qui sont sans épaisseur, ne se discernent que lorsqu'elles sont éclairées de face.

Nous savons maintenant que non seulement la Lune n'est pas une « Terre » plus petite que la nôtre, mais un monde très différent, possédant ses caractères particuliers.

Et d'abord il n'y a pas d'air ou d'atmosphère, de quelque sorte que ce soit. Diverses observations nous en apportent la preuve. Les bords de la Lune et tous ses détails sont parfaitement nets. On ne trouve aucune trace de crépuscule entre la région éclairée par le Soleil et celle qui est dans l'ombre. Cette absence d'atmosphère s'explique aisément : la gravité à la surface de la Lune n'est pas suffisante pour retenir les gaz et les empêcher de se disperser dans l'espace. Pourtant on a pensé que des gaz pouvaient se dégager du sol et, malgré leur faible débit, créer une atmosphère très diluée. Les astronomes se sont appliqués à déterminer la limite supérieure de la densité de cette atmosphère. Ils ont étudié les occultations d'étoiles. Puisque la Lune se déplace par rapport aux étoiles, son disque nous cache, de temps à autre, certaines d'entre elles. Leur disparition et leur réapparition sont brusques, sans trace d'absorption. En toute rigueur, ces phénomènes ne sont pas absolument instantanés, en raison d'un effet de diffraction, dû à la nature ondulatoire de la lumière. (Ces occultations ont été mises à profit pour déterminer les diamètres de quelques étoiles occultées, car l'effet de diffraction n'est pas le même pour une source ponctuelle et pour une source ayant un diamètre apparent, même si celui-ci est extrêmement petit, comme c'est le cas pour les étoiles.) On a déduit de ces observations que la densité de l'atmosphère lunaire est au moins 5 000 fois plus faible que celle de l'atmosphère terrestre. En essayant de mettre en évidence une lueur crépusculaire, on a obtenu une limite supérieure bien plus faible, un cent-millionième. Enfin par des mesures d'un effet d'ionosphère autour de la Lune, on a trouvé encore moins : 6×10^{-13} .

Le royaume du silence

Puisqu'il n'y a pas d'atmosphère, il n'y a pas d'eau à la surface de la Lune, car elle se vaporiserait immédiatement. Donc ni pluie, ni vent, ni humidité, ni nuage. Un feu ne peut pas y brûler, puisqu'il n'y a pas d'oxygène pour entretenir la combustion. Autre singularité, la Lune est le royaume du silence, l'air qui transporte les sons faisant défaut. Le ciel lunaire est absolument noir, le jour et la nuit, puisque le bleu de notre ciel est dû à la diffusion de la lumière solaire par notre atmosphère. Pendant le jour, les étoiles sont visibles à côté du Soleil aveuglant. Dans ce ciel, la

Terre, semblable à une immense Lune, reste immobile; le Soleil et les étoiles se déplacent très lentement, puisque leur mouvement est 27 fois moins rapide que pour nous, qui voyons le ciel faire un tour en 24 heures.

Une autre conséquence importante, qui met en évidence le rôle de notre atmosphère, concerne la température. Des mesures délicates mais précises, réalisées au moyen de radiomètres, ont montré que la température du sol lunaire atteint et dépasse $+ 100^{\circ}\text{C}$ dans la région qui a le Soleil au zénith, tandis qu'elle descend à $- 150^{\circ}\text{C}$ dans la partie non éclairée. Une différence à peine un peu plus petite doit exister entre un point au Soleil et un point à l'ombre d'un accident quelconque du terrain.

Ces fortes variations de la température contribuent certainement, en même temps que les chutes de météorites, à produire la couche pulvérulente, qui recouvre la Lune. En effet, les roches s'échauffent plus ou moins selon l'incidence des rayons solaires et aussi selon leur nature et leur teinte. Les inégalités de dilatation provoquent leur dislocation.

Cette couche pulvérulente est mise en évidence, tout d'abord, par le faible pouvoir réflecteur du sol lunaire. On a évalué que la Lune renvoie seulement 7,3 % de la lumière qui la frappe. D'ailleurs le sol de la Lune est sombre, brunâtre plutôt que gris, d'autant plus foncé qu'il est resté plus longtemps exposé sans changement aux rayons du soleil.

Une autre information intéressante est ob-

tenu en étudiant l'« indicatrice de diffusion », c'est-à-dire la variation de la luminosité en fonction de l'angle d'incidence. Cette luminosité n'est pas du tout proportionnelle à la fraction de surface éclairée. Ainsi la pleine Lune nous envoie 12 fois plus de lumière qu'une Lune en quartier; autrement dit, elle est, à surface égale, 6 fois plus brillante. On a trouvé que, parmi les matériaux terrestres, ce sont des scories volcaniques qui donnent une indicatrice de diffusion ressemblant le mieux à celle de la Lune.

Quelle est la consistance du sol lunaire ?

Pour étudier la nature du sol lunaire, on a mis en application d'autres méthodes très ingénieuses. Les mesures polarimétriques font intervenir la préférence de la lumière à vibrer dans certains plans. La lumière du Soleil n'est pas polarisée, mais après réflexion sur la Lune elle l'est plus ou moins, selon l'angle sous lequel elle a été diffusée. Une courbe de polarisation de la Lune a été déterminée avec un appareil très sensible. On en a conclu que le sol est recouvert d'une couche de poussières fines, très absorbantes, opaques, rappelant les cendres émises par les volcans.

On a trouvé qu'au cours des éclipses de Lune, la température du sol lunaire varie très rapidement avec l'éclairement, quand la Lune passe dans le cône d'ombre de la Terre. Ce sol a donc une très faible capacité calorifique

LES PLANÈTES DU SYSTÈME SOLAIRE

	MERCURE	VENUS	TERRE	MARS	JUPITER	SATURNE	URANUS	NEPTUNE	PLUTON	LUNE
Distance moyenne au Soleil comparée à celle de la Terre	0,387	0,723	1	1,524	5,203	9,539	19,191	30,071	39,46	—
Période de révolution ..	88 jours	224,7 jours	1 an	1,88 an	11,86 ans	29,46 ans	84,02 ans	164,79 ans	248,43 ans	—
Diamètre équatorial comparé à celui de la Terre..	0,37	0,966	1	0,54	11,14	9,4	4,0	4,3		0,273
Masse comparée à celle de la Terre	0,054	0,82	1	0,11	318	95,3	14,6	17,3	0,9 (?)	0,012
Densité moyenne	4,1	4,9	5,52	3,58	1,33	0,71	1,26	2,22		3,36
Gravité à la surface comparée à celle de la Terre	0,3	0,86	1	0,37	2,64	1,17	0,91	1,34		0,16
Période de rotation	88 jours	224,7 jours (?)	1 jour	24,6 heures	9,9 heures	10,2 heures	0,7 heures	10,7 heures	15,8 heures	—
Vitesse de libération en km/s	3,5	10,1	11,2	5,0	59,5	35,4	20,9	22,5		2,4
Vitesse moyenne sur l'orbite en km/s	47,5	34,7	29,6	24	13	9,6	6,7	5,4	4,8	1,03
Nombre de satellites	0	0	1	2	11	9	5	2	0	—

et il est très mauvais conducteur ; il n'est pas formé de gros blocs, mais d'une poudre fine, opaque, placée dans le vide. D'après la conductibilité thermique, on a évalué que les grains ont un diamètre inférieur à 0,1 mm.

On a, d'autre part, tiré profit des techniques modernes de la radioastronomie. On a observé le rayonnement radioélectrique de la Lune pour une longueur d'onde de 1,25 cm. Des astronomes australiens ont trouvé ainsi que la température de la Lune varie entre + 30° C et - 75° C et que cette variation est en retard d'un huitième de période sur les changements de phase. Rappelons que les mesures dans l'infrarouge avaient donné un écart beaucoup plus grand (+ 100, - 150° C) et une variation en accord avec les phases. Il n'y a qu'un désaccord apparent entre ces résultats. Pour les ondes radioélectriques, la matière recouvrant le sol est moins opaque que pour les radiations infrarouges. La température qui leur correspond est celle d'une couche plus profonde ; les variations sont plus faibles et se produisent avec un retard, parce que la chaleur se propage très lentement dans la couche pulvérulente. On a estimé qu'une épaisseur de l'ordre du millimètre suffit pour expliquer les effets observés. Mais on n'obtient ainsi qu'une limite inférieure. Certains astronomes pensent que l'épaisseur de la couche de poussières doit atteindre un kilomètre en de nombreux endroits. Pour une future exploration de la Lune, il serait utile de savoir si son sol est assez rigide pour supporter un homme, pour permettre à un véhicule d'avancer, pour construire un abri, etc.

On a obtenu des indications intéressantes en étudiant au radar les échos que donne la Lune. Rappelons que la première expérience de ce genre a été faite par les services techniques de l'armée des U.S.A. en janvier 1946. Depuis lors, les observations ont été répétées en utilisant diverses longueurs d'onde : 10 cm ; 2,5 m ; 2,6 m ; 15 m. Pour toutes ces ondes, le pouvoir réflecteur de la Lune est mauvais, comme pour la lumière. Mais, tandis que le sol se révèle rugueux pour les radiations lumineuses, il apparaît sans aspérités pour les ondes de 10 cm. L'interprétation de cette propriété est compliquée par la pénétration mal connue de ces ondes dans le sol ; mais elle semble indiquer que, si l'on excepte les grandes dénivellations du relief, on ne trouve guère d'accidents ayant des dimensions de l'ordre de 10 cm. Le sol paraît comparable à celui de nos déserts couverts de sable, aux contours amollis. L'épaisseur de la couche superficielle est probablement faible. De plus, on a présenté récemment des arguments selon lesquels la surface, sans avoir la dureté

de nos roches sédimentaires, serait relativement rigide, car les diverses actions auxquelles elle est soumise tendent à former une sorte de ciment. Il n'y aurait donc pas, à proprement parler, de poussières en surface.

Le bombardement de la Lune par les météorites

D'après les estimations récentes, la Terre reçoit chaque jour environ 2 000 tonnes de météorites ; ce total équivaut à 2×10^{14} grammes par centimètre carré et par seconde. (En fait, ce nombre est mal connu et l'incertitude est de l'ordre d'un facteur de 10.) Puisque son champ de gravitation est plus petit, le gain est certainement moindre pour la Lune ; admettons un gramme par centimètre carré en deux millions d'années. Si ce taux s'est maintenu constant depuis 4 milliards d'années que la Lune existe, le total est de 2 kilogrammes par centimètre carré ; cette accumulation de matière ne peut guère dépasser une épaisseur moyenne de quelques mètres.

Le flux de protons solaires représente sensiblement une masse du même ordre de grandeur que celle des météorites, avec la différence qu'il n'y a pas, cette fois, gain de matière, car les atomes d'hydrogène repartent dans l'espace. Mais comme ces protons arrivent avec des vitesses de l'ordre de 1 000 km par seconde, ils apportent une énergie non négligeable.

Les grains de poussière à la surface de la Lune, soumis au bombardement des météorites et au choc des protons, peuvent être portés, lors des chocs, à une température suffisante pour les souder entre eux.

Les idées anciennes d'une étroite ressemblance de la Lune et de la Terre avaient fait admettre une origine volcanique pour les cratères. Cette hypothèse est maintenant abandonnée et l'on pense que les cratères ont été formés par chocs de grosses météorites. Les auréoles et traînées nettement visibles autour de certains cratères proviennent des matériaux projetés lors de ces chutes. Les rainures, les stries peuvent avoir été créées par

Le relief du sol lunaire →

Le sol de la Lune est en général très accidenté. On y distingue des formations auxquelles on a donné plus ou moins improprement les noms de mers, montagnes, cratères, etc. On a dénombré en particulier plus de 30 000 cratères. On voit ici la région nord de la Lune avec au centre la Mer de la Sérénité. Le cirque en haut est Platon, d'un diamètre de 96 km, avec des parois abruptes d'environ 2 400 m.

Ph. Mts Wilson et Palomar



des météorites arrivant tangentiellement. Quant aux « mers », leur origine reste encore très discutée : les uns pensent qu'elles ont été des océans de lave, tandis que pour d'autres les poussières se sont accumulées dans les régions les plus basses de la surface, où elles auraient été transportées par la gravité, peut-être même par des forces électriques. En tous cas, que certains caractères du relief lunaire soient dus ou non à une activité volcanique, jamais depuis qu'il existe des lunettes puissantes on n'a réussi à déceler une variation, même minime, de ce relief, malgré une surveillance attentive... et malgré quelques affirmations hâtives.

On a beaucoup parlé d'une « éruption » volcanique, qui aurait été observée en 1958 par des astronomes soviétiques. Il s'agit d'une observation qui concerne la région du cratère Alphonse, voisin du grand cratère Ptolémée, vers le milieu du disque. Ce sont des astronomes américains qui, les premiers, en 1954, puis en 1956, ont attiré l'attention sur ce cirque, car des spectres leur avaient montré certaines anomalies mal expliquées. En novembre 1958, l'astronome soviétique Kozyrev a eu la chance de saisir le phénomène sur le vif et il a mis en évidence, par spectroscopie, une émission lumineuse, due aux bandes caractéristiques de la molécule C_2 . Des gaz carbonés ultrararéfiés se sont échappés du sol; par un effet de fluorescence, sous l'action des rayons ultraviolets du Soleil, ils sont devenus lumineux, comme cela se passe dans le cas des comètes qui montrent précisément toujours ces bandes dans leurs spectres. Au total, il s'agit d'un simple dégagement de gaz, sans modification perceptible du relief.

Il reste beaucoup de questions auxquelles il sera possible de répondre quand l'exploration de la Lune sera devenue une réalité. Mais, avant même que des hommes n'aillent tenter cette exploration, il serait raisonnable de faire tout le possible pour préciser nos connaissances sur quelques points. C'est pourquoi l'astronome américain Menzel pense que l'on enverra d'abord dans la Lune des robots, capables par exemple de tourner leur tête de télévision dans diverses directions, de faire un trou dans le sol, de mesurer l'épaisseur et la température de la couche superficielle, etc.

Mercure, lune du Soleil

Mercure est la planète la plus proche du Soleil. Elle est, par suite, difficile à observer, car elle est toujours noyée dans la lumière de ce dernier. Dans une lunette, son aspect est remarquable, parce qu'elle présente des

phases, comme la Lune et aussi comme Vénus.

Quelques autres caractères rapprochent Mercure de la Lune : dimensions comparables (diamètre 1,5 fois celui de la Lune), faible gravité, sol brunâtre réfléchissant mal la lumière; enfin, Mercure tourne autour du Soleil en dirigeant vers lui toujours la même face, comme la Lune autour de la Terre et pour des raisons analogues.

La face toujours exposée au Soleil est à une température très élevée, qui varie de $410^{\circ} C$ à $280^{\circ} C$ pendant que, par suite de l'excentricité de l'orbite, la distance au Soleil passe de 45 à 69 millions de kilomètres. Aux antipodes règne continuellement une température voisine du zéro absolu ($-273^{\circ} C$).

Compte tenu de la faible gravité et de la chaleur qui règne sur la face éclairée, on s'attendrait à ne trouver aucune atmosphère autour de Mercure. Ce n'est pas tout à fait la vérité. On a décelé une atmosphère très diluée, dont la densité au voisinage du sol serait les $3/1\ 000$ de celle de l'air que nous respirons. Ce ne peut être que des gaz relativement lourds, se dissipant lentement dans l'espace; sans doute se dégagent-ils du sol.

Vénus se cache sous des nuages

Vénus est la planète qui ressemble le plus à la Terre par ses dimensions et sa masse. Mais là paraissent se borner les ressemblances. En fait, on va le voir, nous connaissons encore fort mal notre voisine.

La difficulté essentielle est que la surface de Vénus nous est continuellement cachée par un épais voile de « nuages ». On emploie le mot « nuages », mais il n'est pas du tout certain qu'il s'agisse de nuages analogues à ceux que nous voyons sur la Terre, c'est-à-dire constitués par de la vapeur d'eau. Nous reviendrons sur cette question. Ce voile donne à la planète un fort pouvoir réflecteur, mais il joue le rôle d'un véritable écran. Que les photographies soient prises en lumière ordinaire, en rayons infrarouges ou en rayons ultraviolets, on distingue sur le disque seulement quelques plages plus sombres, qui peuvent être des masses plus ou moins épaisses de nuages. Cependant, par des observations visuelles répétées sur des intervalles de plusieurs jours consécutifs, quelques savants croient reconnaître des configurations permanentes, au-dessous du voile changeant de l'atmosphère. Mais ce résultat est encore discuté.

Faute d'apercevoir des détails précis de la surface, on connaît mal la période de rotation de la planète. On peut affirmer qu'elle est longue. Une méthode spectroscopique, re-

posant sur l'effet Doppler, a permis de mesurer avec succès les périodes de rotation de Jupiter, de Saturne, sans qu'il soit besoin de repérer des détails de surface. Dans le cas de Vénus, cette méthode n'est pas assez précise; elle montre seulement que la rotation est très lente. D'après les observateurs qui prétendent avoir aperçu des détails permanents de la surface, la période serait de 225 jours, égale à la durée d'une révolution autour du Soleil. Dans ce cas, Vénus présenterait toujours la même face au Soleil.

Si la spectroscopie a échoué pour déterminer la rotation de Vénus, elle a donné quelques précisions sur la composition de son atmosphère. Les résultats sont surprenants: ni oxygène, ni vapeur d'eau, mais d'énormes quantités de gaz carbonique. La recherche de l'oxygène et de la vapeur d'eau est difficile: il faut employer une méthode qui élimine les effets des constituants de notre propre atmosphère. Jusqu'ici, on peut seulement affirmer que, s'il y a de l'oxygène ou de la vapeur d'eau dans l'atmosphère de Vénus, la quantité présente *au-dessus de la couche opaque de nuages* ne dépasse pas un vingtième de celle présente dans l'atmosphère de la Terre. Quant au gaz carbonique, son épaisseur est de l'ordre d'un kilomètre, sous les conditions normales, toujours au-dessus des nuages. Rappelons qu'il existe une faible proportion de gaz carbonique dans notre atmosphère: l'épaisseur totale de ce gaz, ramenée aux conditions normales, est de 8,4 m seulement. On peut donc énoncer au moins une conclusion précise: si un homme ou n'importe quel animal terrestre se trouvait subitement plongé sans précautions dans l'atmosphère de Vénus, il succomberait, asphyxié par le gaz carbonique.

Revenons maintenant au problème de l'oxygène et de la vapeur d'eau, qui mérite une discussion. Nous avons précisé que l'analyse porte sur la région située au-dessus des nuages. Or, dans notre atmosphère, 8 % seulement de l'oxygène se trouve au-dessus de la tropopause. Si, dans l'atmosphère de Vénus, la couche de nuages est voisine de la tropopause, il est encore possible, d'après les limites indiquées, qu'il existe de l'oxygène au-dessus de ce niveau, la moitié environ de la quantité présente dans notre atmosphère au-dessus de la tropopause.

La discussion serait analogue pour la vapeur d'eau. Si bien que, malgré l'analyse spectroscopique, maints savants pensent que les « nuages » peuvent être, comme les nôtres, constitués par de la vapeur d'eau. On a étudié la nature de ces nuages par des mesures polarimétriques. Le résultat est qu'ils sont formés

de très fines gouttelettes, d'environ 2 millièmes de millimètre, soit 10 fois plus petites que celles de nos cumulus.

On a remarqué que les nuages de Vénus présentent une légère coloration jaune, tandis que les nôtres sont nettement blancs. L'hypothèse de nuages de sable a été envisagée, mais ne semble pas avoir été retenue.

Un autre élément intéressant à connaître est la température. Les mesures faites dans l'infrarouge entre 8 et 14 microns donnent — 40° C environ, à la fois pour l'hémisphère éclairé par le Soleil et pour celui dans l'ombre. Mais il s'agit de la température régnant vers la couche de nuages. On trouve, par contre, une température de + 80° C d'après les observations obtenues avec l'onde de 3,15 cm, qui pénètre profondément dans l'atmosphère, probablement jusqu'au sol.

Entre l'hémisphère éclairé et chauffé par le Soleil et celui dans l'ombre, il se produit certainement des échanges atmosphériques massifs et violents. Une découverte surprenante a été faite récemment: de temps à autre, on perçoit une émission radioélectrique provenant de Vénus. On l'attribue à des « orages », analogues à ceux qui se produisent sur la Terre.

Mars, son atmosphère et ses saisons

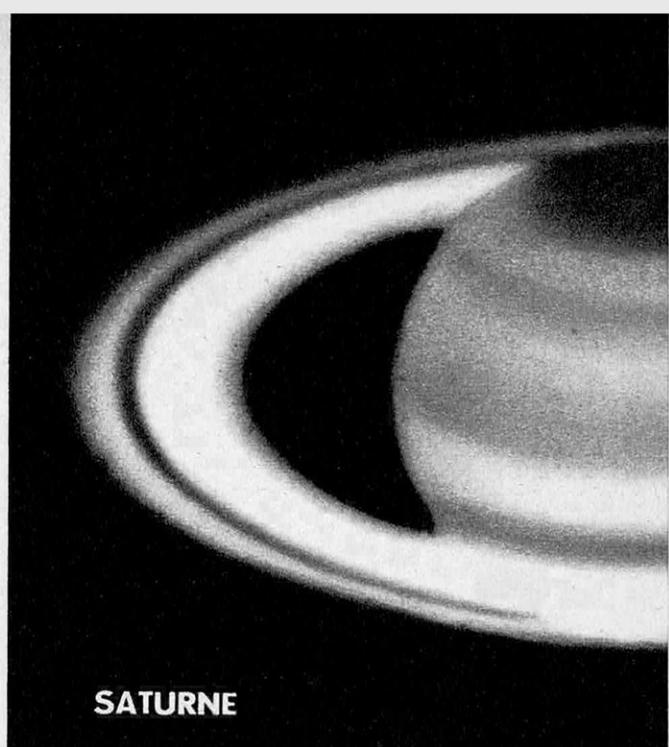
Mars présente, pour les observations, deux grands avantages sur Vénus. Dans la position la plus proche, il nous montre tout son disque illuminé par le Soleil, tandis que Vénus apparaît comme un mince croissant, dans la phase qui correspond à la nouvelle Lune. Et surtout, l'atmosphère de Mars est transparente et permet aisément d'apercevoir sa surface.

Avant toute discussion au sujet de Mars, il ne faut pas oublier que la distance minimum nous séparant de cette planète est d'environ 55 millions de kilomètres, c'est-à-dire très sensiblement 150 fois la distance qui nous sépare de la Lune. Dans une lunette, on ne pourra donc distinguer que des objets 150 fois plus larges que la Lune. Puisque l'agitation atmosphérique ne nous permet jamais de profiter complètement du pouvoir séparateur théorique, il n'est pas exagéré de dire que l'on n'aperçoit guère plus de détails sur Mars dans une lunette qu'à l'œil nu sur la Lune.

Rappelons maintenant quelques données essentielles. Le diamètre de Mars est très sensiblement la moitié de celui de la Terre. Sa surface est donc 4 fois plus petite. Comme il n'y a pas d'océans sur Mars, tandis qu'ils couvrent les 3/4 de notre globe, la surface de



MARS



SATURNE

AU-DELA DE L'ORBITE TERRESTRE les trois premières planètes dites « supérieures » sont, dans l'ordre de leur distance au Soleil, Mars, Jupiter et Saturne, que ces photographies ne montrent pas à la même échelle. Le diamètre de Mars est à peine supérieur à la moitié de celui de la Terre; l'atmosphère est peu dense et on

Mars est à peu près égale à celle de nos continents. La durée des jours sur Mars ne dépasse que de 37 minutes 23 secondes celle de nos jours sur la Terre. L'axe de rotation de la planète a sensiblement la même inclinaison que pour la Terre. Il y a donc des saisons; elles sont environ deux fois plus longues que les nôtres, puisque la révolution autour du Soleil exige 687 de nos jours.

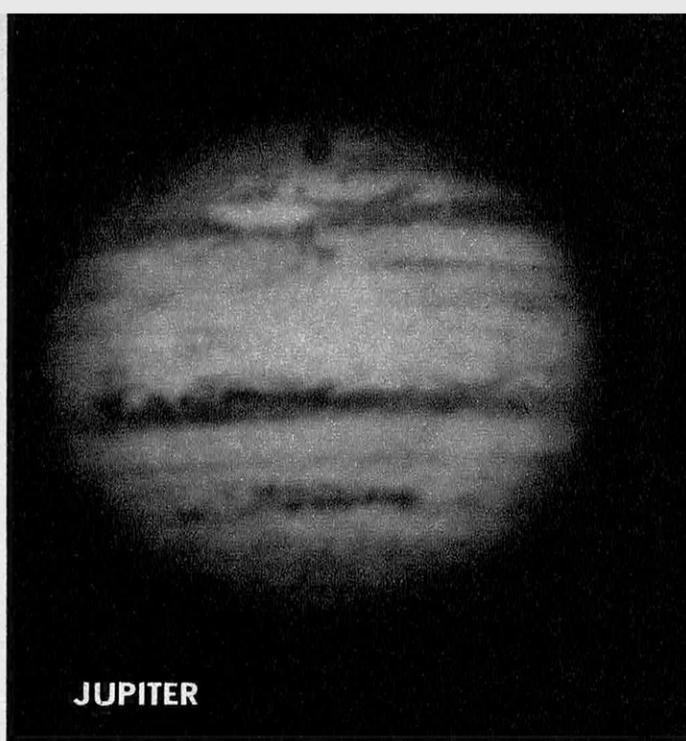
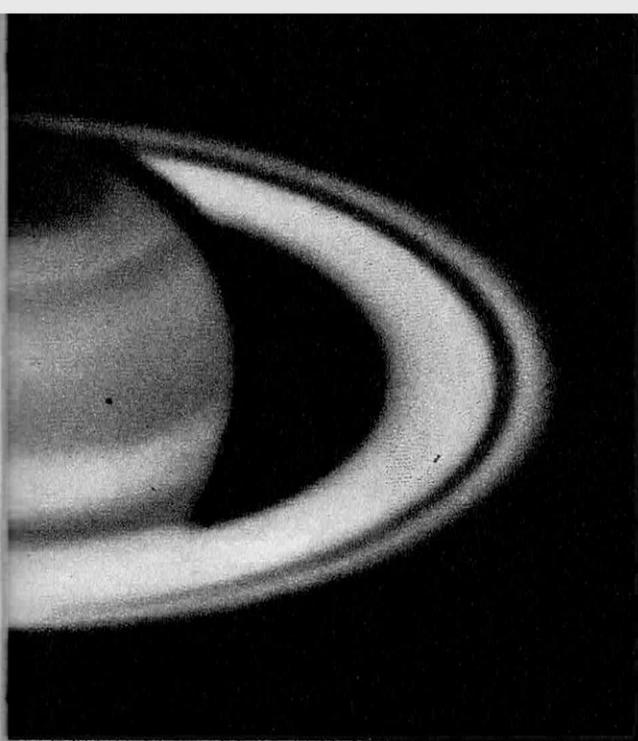
Plusieurs méthodes ont permis d'estimer la pression atmosphérique sur le sol. Elle est sensiblement 10 fois plus petite que chez nous au niveau de la mer. Malgré cette faible valeur de la pression, l'atmosphère est étendue. On en a la preuve: des nuages ont été observés à plus de 30 km du sol. La lente diminution de la densité avec l'altitude s'explique par la valeur réduite de la gravité.

Quant à la composition de cette atmosphère, le seul gaz dont la présence a été reconnue jusqu'ici par la spectroscopie est le gaz carbonique. Il ne s'y trouve pas en abondantes quantités comme sur Vénus, mais à l'état de traces, comme dans notre atmosphère. Cependant, malgré la basse pression, il y en a 13 fois plus en volume que dans l'air que nous respirons. Les autres constituants de l'atmosphère n'ont pas été identifiés; on pense à l'azote et peut-être à l'argon. En tous cas le spectroscope ne reconnaît ni oxygène,

ni vapeur d'eau. On a même pu affirmer que les épaisseurs d'oxygène et de vapeur d'eau dans l'atmosphère de Mars sont inférieures à un millième des valeurs présentes dans notre atmosphère. Nous reviendrons plus loin sur le problème de l'eau.

A cause de sa plus grande distance au Soleil, Mars ne reçoit même pas, à surface égale, la moitié de la quantité de chaleur arrivant sur la Terre. Il n'est pas surprenant que la température y soit nettement plus basse. Les mesures indiquent qu'au sol, à l'équateur, elle atteint un maximum de $+30^{\circ}\text{C}$ et tombe dans la nuit à -80°C . Dans les régions polaires, elle est de -100°C en hiver.

Essayons maintenant de préciser la nature des détails qu'une lunette permet de distinguer sur la planète. Ils sont de trois types: les calottes polaires, qui croissent ou diminuent suivant la saison, disparaissant presque en été, couvrant la moitié d'un hémisphère en hiver; les plages rouges ou orangées, qui couvrent la majeure partie de la planète; les plages sombres, de teinte verdâtre, qui s'étendent sur les 3/8 environ de la surface, suivant une ceinture vaguement parallèle à l'équateur. En plus de ces détails permanents, on aperçoit de temps à autre des nuages ou de la brume.



JUPITER

Ph. Observatoire de Paris - Ph. Mts. Wilson et Palomar

distingue facilement le sol. Jupiter est la planète la plus grosse, son diamètre vaut 11 fois celui de la Terre ; on voit l'ombre de son satellite Ganymède sur les nuages striés de méthane et d'ammoniac qui cachent sa surface. Les anneaux de Saturne (280 000 km de diamètre extérieur) sont peut-être formés de petits blocs de glace.

Pôles et déserts martiens

Les calottes polaires font immédiatement penser à celles de notre globe. On a maintenant la certitude qu'elles sont formées, comme ces dernières, d'eau condensée, glace, neige ou givre. On a retrouvé en les observant des bandes d'absorption infrarouges de la glace. Des mesures polarimétriques ont montré leur ressemblance avec du givre, sous faible pression, à la température de l'air liquide. Mais les calottes de Mars ne sont pas comparables, comme épaisseur, aux énormes couches de glace qui s'étendent sur nos régions polaires. D'après la faible quantité de chaleur qui produit leur fusion, on calcule que leur épaisseur est de quelques centimètres, l'équivalent d'une mince couche de neige. Au total, la quantité de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère ne doit pas dépasser la limite supérieure trouvée par les spectroscopistes. Il n'y a donc là aucune contradiction.

Les vastes régions rougeâtres, qui donnent à la planète sa couleur caractéristique, sont considérées comme des déserts. Elles ne sont pas couvertes de sable. Leurs propriétés optiques rappellent celles de certains minerais, tout spécialement de la limonite, oxyde de fer hydraté. S'agit-il de plaines uniformes ? On ne peut pas l'affirmer. On pense qu'il

existe des montagnes ou des plateaux, au moins vers le pôle sud, car lorsque la calotte se résorbe, il subsiste des îlots, toujours vers les mêmes places, où la fonte de la neige est plus tardive.

Les régions les plus intéressantes sont les plages sombres. On a remarqué depuis longtemps que ces plages subissent des variations saisonnières de couleur : elles deviennent plus sombres au printemps martien et s'éclaircissent en automne, tandis que leur couleur tourne progressivement du verdâtre au jaunâtre. On a tout naturellement pensé que ces changements sont les preuves d'une végétation, qui se développerait au printemps et fanerait en automne. Nous sommes ainsi conduits à discuter le problème de la vie sur Mars.

Nous laisserons de côté la question des fameux canaux. On a reconnu que les instruments employés pour examiner Mars ne permettaient pas de les discerner. Les effets de la diffraction et des illusions d'optique ont trompé la bonne foi de nombreux observateurs.

Les conditions physiques à la surface de Mars sont comparables à celles que l'on trouverait sur un plateau terrestre à 15 000 m d'altitude, s'il en existait un : basse température, extrême sécheresse, faible pression

atmosphérique. Il faut ajouter encore l'absence presque totale d'oxygène et peut-être la pénétration jusqu'au sol des rayons solaires ultraviolets. Ces conditions sont très différentes de celles dans lesquelles la vie est apparue et s'est développée sur la Terre. En tous cas, aucun indice ne nous permet de croire à quelque forme de vie animale.

Pour ce qui concerne l'existence possible de végétaux, on a fait diverses constatations. Les plantes à fleurs, qui poussent à profusion sur la Terre, contiennent toutes de la chlorophylle, dont on peut reconnaître la présence à distance par la spectroscopie. Comme on n'a pas retrouvé les bandes caractéristiques de la chlorophylle dans les plages sombres de Mars, on a imaginé que la végétation de Mars pourrait être formée de lichens. Tout récemment on a observé, dans le spectre infrarouge des plages sombres, trois bandes, faibles, qui sont caractéristiques des composés hydrocarbonés. Ces bandes s'atténuent ou disparaissent quand on vise les plages claires. C'est la première preuve qu'une végétation existe très vraisemblablement sur Mars. Pourtant il faut signaler, en toute objectivité, que la température des régions sombres est supérieure en moyenne de 8° à celle des plages claires. Si la lumière solaire est réfléchiée par des végétaux, on attendrait un écart en sens inverse, puisqu'une part de l'énergie est absorbée par les végétaux pour les processus complexes de photochimie.

Les planètes géantes

Lorsque nous les observons, nous voyons, seulement la couche superficielle de leurs atmosphères, qui sont épaisses, très denses et agitées. Nous n'apercevons jamais leurs surfaces solides. Il n'est même pas certain que ces surfaces soient bien définies. Du bord au centre, les gaz deviennent progressivement plus denses, puis liquides, puis solides sous l'effet de l'énorme pression.

Les températures superficielles sont très basses : -150° C environ pour Jupiter, la plus chaude parce que la plus rapprochée du Soleil, et -200° C pour Neptune.

Leurs atmosphères sont constituées essentiellement d'hydrogène, de méthane (CH_4) et de gaz ammoniac (NH_3); elles contiennent peut-être aussi de l'azote et de l'hélium. La lumière ne pénètre pas profondément dans l'atmosphère de Jupiter; cependant une comparaison expérimentale de son spectre avec ceux du méthane et de l'ammoniac a montré que la couche traversée est équivalente à une épaisseur de 150 m de méthane dans les conditions normales et de 7 m d'ammoniac. Les

nuages de Jupiter sont vraisemblablement formés de cristaux d'ammoniac. Dans les planètes plus lointaines, plus froides, l'ammoniac est de plus en plus condensé; on n'en trouve même plus dans l'atmosphère de Neptune; il doit être complètement à l'état solide, dans les couches profondes. Ainsi, grâce à la condensation de l'ammoniac, les atmosphères deviennent plus transparentes pour les planètes plus lointaines; les bandes du méthane apparaissent plus intenses. Pour Uranus et Neptune, les épaisseurs équivalentes de méthane sont 2,2 km et 3,7 km respectivement. Rappelons, pour comparaison, que l'épaisseur équivalente de l'atmosphère terrestre est de 8 km.

Les conditions physiques sur ces quatre planètes semblent exclure toute possibilité de vie et même décourager toute tentative d'exploration directe. Peut-être, pour étudier de près ces planètes géantes, les astronautes iront-ils s'installer sur un des nombreux satellites qui gravitent autour d'elles. Ils éviteraient ainsi, non le froid, mais du moins leurs atmosphères pestilentielles; car tous ces satellites sont, comme la Lune, dépourvus d'atmosphère, à l'exception de Titan, le sixième satellite de Saturne, le plus gros. Plusieurs ont des dimensions comparables ou même supérieures à celles de la Lune.

Un spectacle extraordinaire serait sans aucun doute celui de Saturne et son système d'anneaux, vus d'un des 9 satellites gravitant tout autour. Rappelons que ces anneaux sont formés par une nuée de très petits satellites tournant tous dans un même plan autour de la planète, suivant des orbites circulaires.

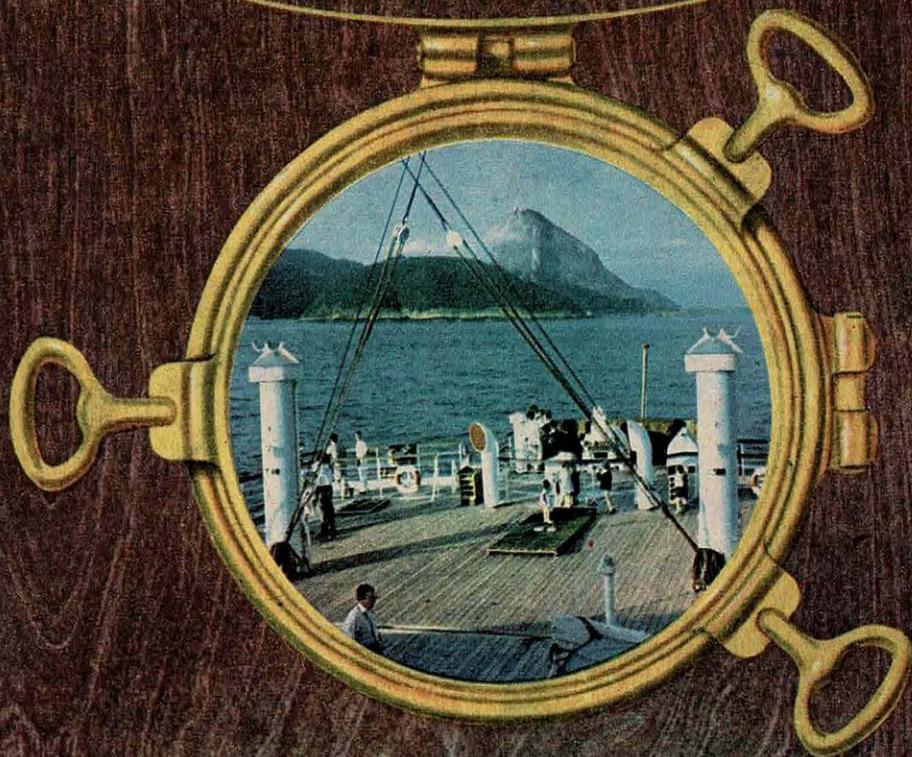
Pluton, la plus lointaine

La dernière planète du système solaire, Pluton, a été découverte en 1930. Elle est encore mal connue. Sa masse, calculée d'après les perturbations exercées sur les mouvements d'Uranus et de Neptune, paraît voisine de celle de la Terre. Son diamètre a été mesuré avec le télescope géant du Mont Palomar; on l'a trouvé un peu inférieur à la moitié de celui de la Terre. On en déduit une densité de 50 fois celle de l'eau. Ce résultat paraît inadmissible. On croit généralement que c'est l'estimation du diamètre qui est mauvaise. Si nous regardons de loin une boule polie éclairée par le Soleil, nous voyons un point brillant, et non la boule entière. Mais on ne comprend pas pour quelles raisons Pluton se comporterait comme une boule brillante.

J. GAUZIT

Astronome à l'Observatoire de Lyon

**Compagnie Maritime des
CHARGEURS RÉUNIS**



L'AMÉRIQUE DU SUD

45 jours de croisière

Prix à partir de NF 4700

BRÉSIL - URUGUAY - ARGENTINE

via: L'ESPAGNE, LE PORTUGAL, MADÈRE,
LES ILES CANARIES

3, BOULEVARD MALESHERBES - PARIS - ANJOU 08-00

Aux agents et représentants de la Cie ainsi qu'aux agences de voyages



(Photo USIS)

Les sièges des capsules du projet «Mercury»

Ces sièges sont disposés horizontalement dans les capsules, pour permettre aux pilotes de mieux supporter l'accélération du départ et la décélération du retour. Chaque pilote a son siège personnel, ou mieux sa « couche », car il est moulé aux formes de son corps pour répartir exactement les pressions.

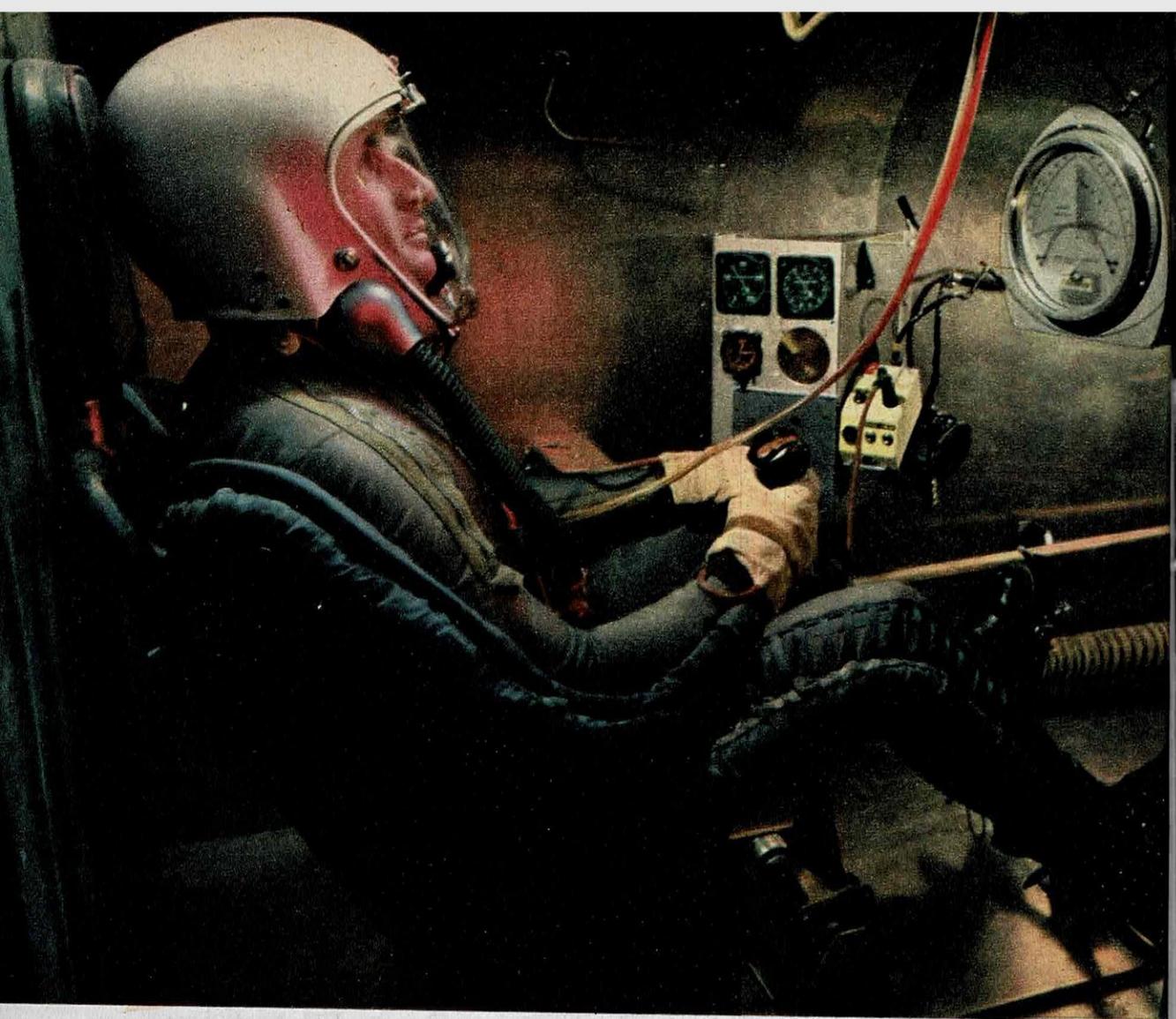


Survie, Confort dans l'Espace

L'OPÉRATION « Mercury » est prévue par les Américains pour le début de 1961. Un homme sera enfermé dans une capsule en titane et acier inoxydable de 2 m de large et 2,30 m de haut, perchée au sommet d'une fusée Atlas de 23 m. Coincé entre les instruments, étendu sur le dos sur un lit en fibre de verre et matière plastique qui moule toutes les courbes de son corps, il attend. Dans un moment il sera sur un volcan en éruption. L'étanchéité de la capsule l'empêche d'entendre la voix qui, dehors, égrène les secondes à rebours, mais devant ses yeux des voyants clignotent. Il sait que l'on arrive au bout du compte. Zéro : le moment du départ. Dans un grondement apocalyptique, perdu au cœur d'une monstrueuse explosion, l'homme monte vers le ciel à la pointe d'un engin intercontinental. Son corps, ébranlé par d'atroces vibrations, se crispe dans son harnachement. Peu à peu il est pressé sur sa couche comme par un pilon invisible, avec une force croissante. Ses membres se paralysent, son visage s'aplatit, devient ce masque grotesque qu'il a vu à ses camarades dans la centrifugeuse du centre d'études de médecine aéronautique.

Sans haut, ni bas

La pression devient presque intolérable, mais cela ne dure que quelques secondes, pendant lesquelles des images kaléidoscopiques s'impriment sur sa rétine. Voilà à peine quelques minutes écoulées et déjà il tombe dans le précipice du monde sans pesanteur, désaxé comme dans un cauchemar dans un espace sans direction, où ses bras libres flottent sans résistance, où il n'y a plus ni haut ni bas. Au-dessus de lui — mais peut-il parler de dessus ? — à travers la fenêtre que les futurs



(Photo Toscas)

L'ÉPREUVE DU CAISSON DE CHALEUR a pour but d'étudier le comportement de l'être humain et sa protection lorsque sa cabine, atteignant de grandes vitesses, subit un échauffement important. Le caisson du Centre d'Essais en Vol de Brétigny ci-dessus peut atteindre 180° C. Il peut être introduit dans une chambre d'altitude et comporte des régulateurs d'oxygène ainsi qu'une alimentation en air frais pour les combinaisons.

astronautes ont exigée des ingénieurs, des myriades d'étoiles brûlent sans scintiller, balayant un fond de ténèbres, avec, régulier, le passage du bord aveuglant du disque solaire. Il ferme les yeux : le contraste de ces foyers de lumière intense qu'aucune atmosphère ne diffuse plus et de la nuit absolue est insupportable. Et il sait que des dangers encore mal précisés le guettent, tel l'impact d'une météorite assez grosse pour crever la paroi de sa cabine qui éclaterait comme une bombe. Il sent toutes les menaces coalisées contre lui, rayons cosmiques, météorites, ténuité de l'atmosphère artificielle qu'il res-

pire, chaleur, luminosité insolite, silence du vide, et ce que la science-fiction a prédit sous le nom de « folie de l'espace ». Si tout cela paralysait son initiative et son intelligence ! S'il n'avait pas été, en cas d'incident au départ, capable d'actionner le dispositif d'éjection et de se libérer de la fusée en perdition ! Si, tout à l'heure, pendant la replongée dans l'atmosphère terrestre où une décélération, encore plus intense que l'accélération qui a présidé à la mise sur orbite, l'écrasera, il n'arrivait pas à manipuler correctement, de sa seule main droite, les commandes qui permettent de contrôler l'instabilité aéro-



(Photo A. M. Hoeschetter)

LE PLUS RÉCENT SCAPHANDRE de l'espace du Centre d'Essais en Vol de Brétigny. Notre couverture le représentait à la sortie d'une épreuve en chambre d'altitude. L'une des principales caractéristiques de ce scaphandre à compression totale par gaz, est la grande aisance des mouvements du pilote ce qui lui permettra entre autres de manœuvrer rapidement son système d'éjection automatique en cas d'urgence. On remarque sur le flanc gauche du pilote l'orifice d'arrivée de l'air.

dynamique de son habitacle ! Une fausse manœuvre créerait un échauffement de la cellule bien au-delà de ses possibilités d'endurance.

Cet homme est un des sept astronautes du projet Mercury, actuellement en entraînement à Langley Air Force Base, Virginie. Il aura été lancé de Cap Canaveral ou de l'île de Wallops. Il effectuera une quinzaine de révolutions autour de la Terre avant de quitter son orbite, freiné par des rétro-fusées, et de retomber dans l'Atlantique, au large des Canaries.

Les Soviétiques ont aussi leurs projets. Ils ont dévoilé récemment leur centre de formation de vol cosmique. Aux U.S.A., plusieurs instituts étudient depuis des années les problèmes physiologiques et psychologiques extraterrestres. La question n'est cependant pas de savoir si le premier homme dans l'espace sera un Américain ou un Russe, mais s'il reviendra de ce voyage mort ou vif, ... s'il revient.

La technique des fusées est au point. Mais la machine humaine est-elle prête à affronter l'espace ?

Les chances de la machine humaine

Ses chances ont été calculées par une toute jeune science : la médecine spatiale. Celle-ci, en fait, est le prolongement d'une discipline déjà mûre, la médecine aéronautique. L'aviation moderne a déjà soulevé bon nombre des problèmes que pose l'espace, en plus sévère. En France, le laboratoire médico-physiologique du Centre d'Essais en Vol de Brétigny-sur-Orge étudie déjà depuis des années les moyens de protection propres à assurer la sécurité et le confort des équipages d'avions placés dans une ambiance incompatible avec la vie. Mais la médecine spatiale se heurte à certains phénomènes qui jusqu'ici intéressaient exclusivement le physicien : rayons cosmiques, fréquence des météorites, rayonnements solaires couvrant tout le spectre électromagnétique, ceintures de radiations. Elle étudie des conditions inconnues sur la Terre et qui, toutes, sont contraires à la nature de l'homme. Elle est amenée à s'occuper de l'effet cumulatif de divers « stress » — psychologiques, mécaniques, métaboliques, toxicologiques — que les vols spatiaux imposeront à l'organisme, et qui éprouveront durement le mécanisme d'adaptation de l'homme. Elle s'intéresse même aux problèmes les plus fondamentaux de la vie, car l'équilibre énergétique interne dépend peut-être de facteurs insoupçonnés parmi lesquels la gravité pourrait jouer un rôle.

La première question à poser : à quelle distance du sol terrestre commence l'« espace » ? Considérée sous l'angle médical, la frontière est toute proche. A 18 000 m, l'homme non protégé rencontre un milieu qui équivaut déjà pour son organisme au vide total. A cette altitude, il commence à affronter des conditions dont les effets physiologiques s'identifient à ceux qu'il trouverait à mi-chemin de la planète Mars. A 200 000 m — l'altitude qu'atteindra le X-15 — toutes ces conditions exercent leur plein effet.

L'échelle de Jacob du pilote de l'espace

Le Dr Hubertus Strughold, ex-Directeur de l'Institut de Recherche Aéromédicale de Berlin, nommé par l'U.S. Air Force à la première chaire au monde de médecine de l'espace, a défini ce qu'il appelle les « équivalences spatiales » : ce sont, pour ainsi dire, les degrés de l'échelle de Jacob, les différentes tranches d'altitude à l'intérieur de notre atmosphère, commençant à 18 000 m et s'échelonnant jusqu'à 200 000 m, et où apparaissent les uns après les autres tous les dangers qui attendent l'homme dans les profondeurs les plus reculées de l'infini. On utilise aujourd'hui cette « spatiographie médicale » de Strughold pour étudier expérimentalement les réactions de l'organisme humain aux diverses altitudes.

La plupart des gens ressentent les premiers symptômes d'altitude à partir de 3 000 m, et même en dessous. A 7 500 m, l'homme respire encore, s'il a été progressivement habitué à des pressions de plus en plus faibles et s'il évite la fatigue. Porté subitement à cette hauteur, il perd connaissance en 3 minutes. A 9 000 m, la nature lui laisse une minute de grâce. A 15 000 m, l'homme n'a plus que 12 secondes de répit — les mêmes 12 secondes, le temps d'épuiser la réserve d'oxygène de son sang et de ses poumons, qui lui seraient octroyées au fond de l'espace, si sa cabine venait à crever. 15 000 m est donc l'« équivalent spatial » du point de vue de la « conscience utile ». A partir de ce niveau intervient un nouveau phénomène : la pression barométrique n'est plus suffisante pour maintenir les liquides organiques en état liquide. La température d'ébullition d'un liquide est fonction de la pression (l'eau bout à moins de 100° à haute altitude). 18 000 m correspond à un point d'ébullition de 37° : la température du corps humain. A ce moment, les liquides organiques (composés en grande partie d'eau) se vaporisent.

A 40 000 m, on se trouve au-delà de la li-

mite d'absorption des rayons cosmiques primaires par l'atmosphère terrestre. La même chose est vraie à 45 000 m pour les radiations solaires telles que les ultraviolets. A 100 000 m, l'air devient trop rare pour diffuser la lumière et transmettre le son, et l'on pénètre dans l'obscurité et le silence étranges de l'espace. A 120 000 m, les météorites cessent d'être consumés par l'atmosphère qui n'est plus assez dense pour échauffer un corps, quelle que soit sa vitesse.

Le Dr Strughold définit aussi un « espace circum-terrestre », s'étendant à cinq longueurs de rayon de notre Terre, et où l'influence de celle-ci est importante pour un « satellite humain ». Elle fait écran aux rayons cosmiques et aux météorites et agirait aussi sur la balance thermique d'un véhicule spatial par son rayonnement propre et son pouvoir de réflexion des radiations solaires. Son champ magnétique agit sur les particules d'origine solaire et cosmique et sur leur répartition à son voisinage. Son action gravifique l'emporte sur celle des autres corps célestes (sauf au voisinage de la Lune) jusqu'à 1 500 000 km. Au-delà commence l'espace interplanétaire proprement dit. Mais en ce qui concerne l'homme, l'espace n'apporte ici plus de surprise.

L'espace du physicien et de l'ingénieur

Les critères de l'espace sont tout à fait différents pour l'ingénieur aéronautique. Là où l'homme ne respire plus depuis longtemps, ses réacteurs trouvent encore de l'air et ses avions se servent encore de leurs ailes pour voler. Pour lui, le début de l'espace se situe au point où aucun moteur à air ne fonctionne plus (8 000 ou 12 000 m plus haut que le seuil établi par la médecine), ou encore l'altitude à laquelle les particules d'air deviennent si rares que la résistance à l'avancement et le frottement sont pratiquement nuls (50 000 m). Les ailes ne fournissent plus de sustentation. C'est ici le domaine exclusif des engins balistiques. Pour se diriger, les surfaces de gouvernails, volets et ailerons ne sont plus opérantes et il faut recourir à de petits éjecteurs. A 200 000 m, les lois de la mécanique céleste exercent leur plein pouvoir.

Le physicien voit encore beaucoup plus large. Il sait que des traces infimes d'atmosphère subsistent jusqu'à 1 000 km de nous. Les aurores boréales, les plus éloignés des phénomènes se rattachant à notre Terre, se situent aux environs de 2 000 km.

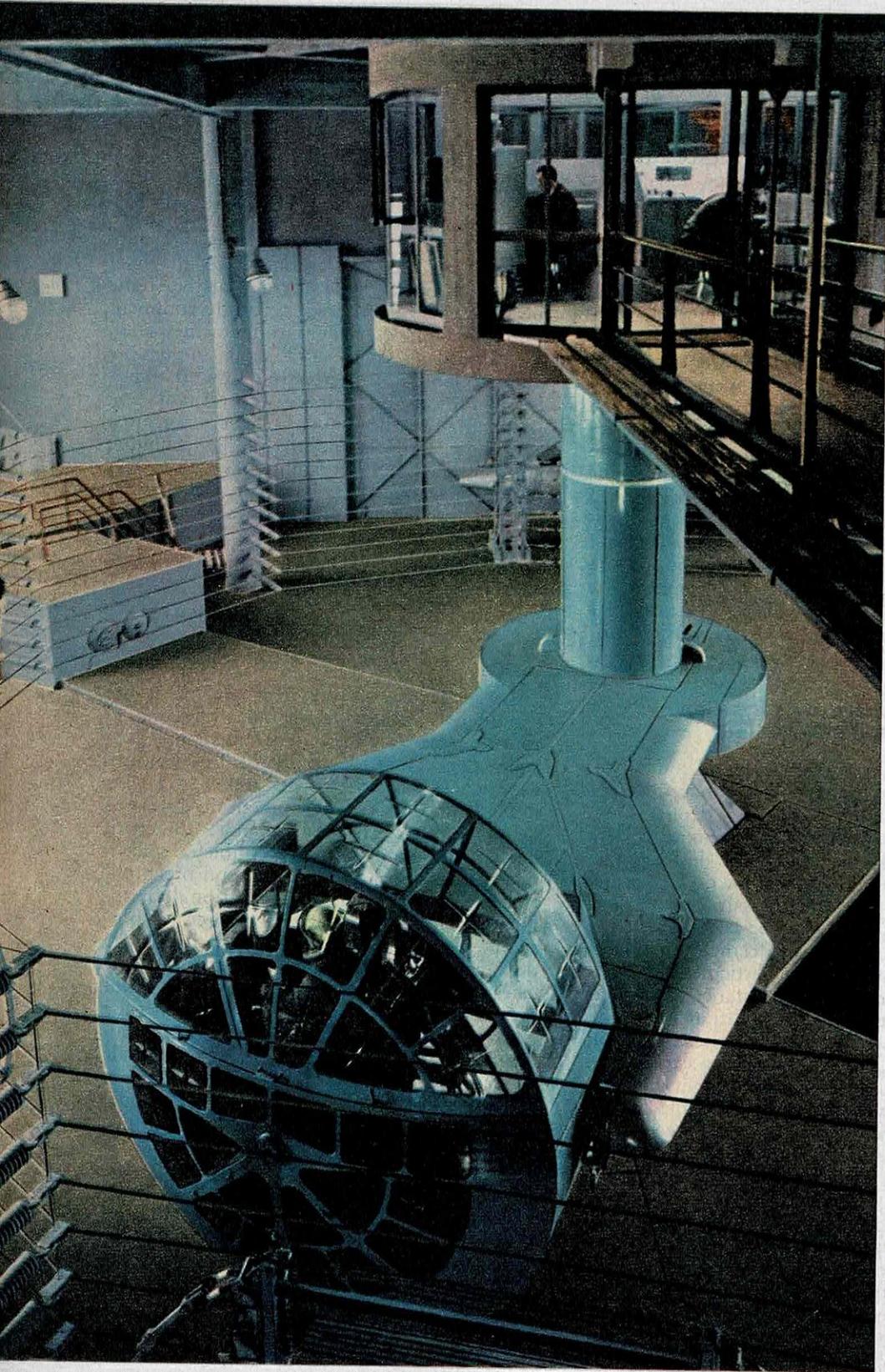
Les conditions de l'espace, pour le mé-

decin, sont donc à portée de la main, mais il n'empêche que la médecine spatiale est essentiellement une science de laboratoire, et que les phénomènes qu'elle étudie sont loin de pouvoir être tous reproduits artificiellement. Cette science a dû inventer la plupart de ses outils expérimentaux : centrifugeuses géantes, chambres de silence, caissons de décompression, chariots sur rail propulsés par fusées. On a envoyé des spores, des drosophiles, des souris, des rats et des singes dans la haute atmosphère. Les Russes ont placé un chien sur orbite autour de la Terre. Mais personne ne peut encore dire avec certitude comment l'homme supportera l'environnement spatial.

Cependant, bien qu'il soit impossible dans un laboratoire terrestre de réunir toutes les conditions de l'espace, les résultats expérimentaux et théoriques sont encourageants. L'homme, dans la mesure où la technique compensera sa vulnérabilité, est prêt. Car il n'est pas question, bien sûr, de changer grand-chose à sa nature, et de réussir en dix ans là où quelques millions d'années sont restés courts : l'adaptation du terrien à la vie extra-terrestre.

L'importance d'un bon entraînement

La médecine spatiale peut seulement déterminer les limites de tolérance humaine, et tout au plus les reculer légèrement par l'entraînement. Sur ce point, d'intéressantes expériences ont été menées aux U.S.A. par le Dr Bruno Balke, ancien médecin des corps de montagne de l'armée allemande. Cherchant à savoir si l'homme est susceptible de s'acclimater aux hautes altitudes et si un préconditionnement facilite cette adaptation, il a emmené un groupe de l'U.S. Air Force, en plusieurs étapes, chacune d'elles marquée par des marches exténuantes et de durs exercices jusqu'au sommet rocailleux du Mont Evans, au Colorado (4 350 m). L'Armée de l'Air y possède un laboratoire de hautes altitudes, doté d'une chambre expérimentale de basses pressions. Il s'agissait de savoir si le Dr Balke et ses hommes, après cet entraînement, résisteraient mieux que des individus non préparés au « mal des caissons » et à la souffrance que cause ordinairement l'azote en solution dans le sang et les tissus, quand il tend à former des bulles. Chaque membre du groupe fut porté, dans la chambre, à des niveaux de pression correspondant à 11 500 m d'altitude, c'est-à-dire au point où un pilote dépourvu d'un vêtement pressurisé est inévitablement sujet au « mal des caissons ». Astreints, dans ces conditions difficiles,



Vue d'ensemble de la salle des essais d'accélération.

(Photo C.E.M.)

(Photo Toscas)



Avant l'épreuve, le scaphandre sera branché sur la prise d'air sous pression.

La centrifugeuse géante du Centre d'Essais en Vol de Brétigny-sur-Orge

CETTE centrifugeuse, l'une des plus perfectionnées du monde, permet d'atteindre des accélérations de 15 g pour le personnel et de 40 g pour le matériel. Les nacelles sont interchangeable suivant le type d'expérimentation. En plus de l'équipement classique (siège éjectable, manche, palonnier) la nacelle réservée au personnel est pourvue de dispositifs permettant de tester la tolérance du sujet, ainsi que d'une caméra de télévision qui en permet l'observation continue. Le lancement se fait par une catapulte à air comprimé, le mouvement étant par la suite entretenu par un moteur électrique. En 1 s 6/10 on peut soumettre une charge de 300 kg à une accélération de 40 g. Le bras a 6 m de long; le diamètre de l'espace balayé mesure 15,3 m.

à exécuter des mouvements d'assouplissement, les hommes tinrent bon. Ils réussirent à « monter » jusqu'à 15 000 m, où leurs yeux commencèrent à se voiler et les veines du cou se mirent à enfler d'une façon inquiétante. Ces mêmes hommes, cependant, n'avaient jamais réussi, avant cette expérience, à dépasser 5 800 m. L'épreuve de montagne était payante. L'expérience démontra également que des individus conditionnés résistent mieux à une concentration anormale en gaz carbonique et peuvent supporter plus longtemps un déficit en oxygène. A 7 700 m, les sujets du Dr Balke retirèrent leur masque après avoir respiré de l'oxygène pur, et demeurèrent ainsi 30 minutes sans perdre conscience. Ordinairement, dans les mêmes conditions, un homme ne résiste pas plus de 5 minutes. Le Dr Balke lui-même est resté une demi-heure, sans masque, à 9 000 m (tolérance normale: 2 minutes). Au bout de 10 minutes, ses lèvres et ses ongles ont bleui, mais il pouvait encore parler et accomplir certains actes simples. De retour à l'Institut de Médecine Spatiale de Randolph (Texas), le Dr Balke et l'un de ses hommes s'enfermèrent pendant 10 jours dans une chambre d'altitude, se soumettant à des chaleurs extrêmes, des pressions infimes, une teneur élevée en gaz carbonique, des décompressions explosives qui simulaient un accident éventuel dans l'espace.

Des Indiens à 5 000 m

Les Américains mènent depuis des années des recherches à Morococha, petit village minier des Andes péruviennes. La population indienne y travaille dur et il arrive que les hommes y jouent au football pendant des heures. Or, on est ici à plus de 5 000 m, altitude à laquelle nos pilotes ne peuvent se passer de masque à oxygène. Les médecins américains qui y montent voient leurs ongles et leurs lèvres bleuir, éprouvent une fatigue accablante, changent de personnalité, commettent malgré eux des actes déraisonnables et connaissent d'affreux cauchemars. Comment les Indiens font-ils pour vivre ici normalement ? Morphologiquement, ils se différencient de leurs frères de la côte par un développement thoracique imposant, un nombre plus élevé de globules rouges dans le sang, et un volume sanguin supérieur. Mais ces différences n'expliquent pas tout: on les retrouve chez certains athlètes, qui sont néanmoins incapables de supporter des épreuves modestes en chambre d'altitude.

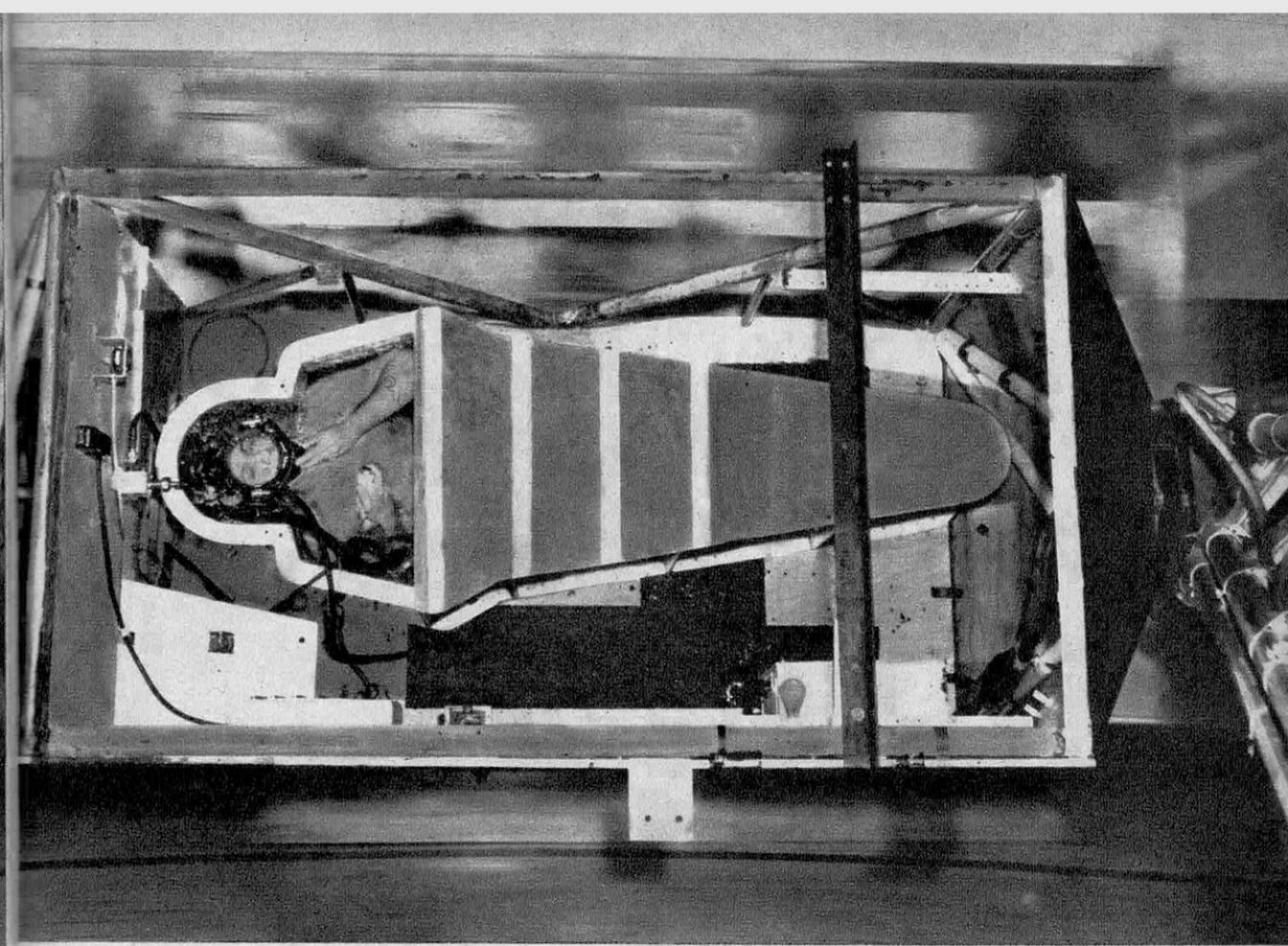
Les Indiens de Morococha restent conscients pendant 2 minutes à une altitude, reproduite

Accélération sous l'eau

Le scaphandre pressurisé est remplacé par une sorte de sarcophage dans lequel le futur astronaute est entièrement immergé avec le masque respiratoire classique du plongeur sous-marin autonome. L'expérience menée à l'un des centres de recherches de l'Air Force a permis de constater que l'être humain peut ainsi supporter des accélérations beaucoup plus fortes et beaucoup plus prolongées. Le liquide subissant les effets de l'accélération exerce lui-même sur le corps humain les pressions nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme; les pressions sont mieux réparties et plus efficaces qu'avec les scaphandres anti-g habituels.



artificiellement, de 12 000 m (plafond des grands quadriréacteurs modernes !). L'homme des plaines y serait asphyxié sur-le-champ. Quel est donc le mécanisme d'adaptation chez ces Indiens ? De nombreuses expériences d'acclimatement sont réalisées, en particulier en France au C.E.R.M.A. (Centre d'Etudes et de Recherches de Médecine Aéronautique) sous la direction du Médecin-général Grandpierre. En Amérique, on fait vivre, depuis des années, des chiens à 6 000 m, en chambre d'altitude. Leur volume sanguin a augmenté, leur cœur s'est agrandi, leur rythme respiratoire s'est modifié. On observe une première période de stérilité des mâles, suivie par un regain de pouvoir procréateur, mais les premières chiennées sont mort-nées. Ceci rappelle l'histoire des Indiens de Morococha, chassés de la côte par les Espagnols, et auxquels il fallut des années avant de produire une génération assez robuste pour survivre aux hautes altitudes, après avoir connu la stérilité. On analyse les tissus animaux dans l'espoir de trouver le principe biochimique de cette adaptation. Un jour, peut-être, on arrivera à



stimuler ce mécanisme chez les astronautes.

Pour le moment, la médecine spatiale ne peut guère plus que constater les limites humaines. La technique doit faire le reste. Le rôle des médecins est surtout de fixer, pour les techniciens de l'aéronautique, les normes des machines de l'espace, en fonction des besoins physiologiques et psychologiques de l'homme. Car les cabines spatiales devront être bâties autour de sa précieuse personne.

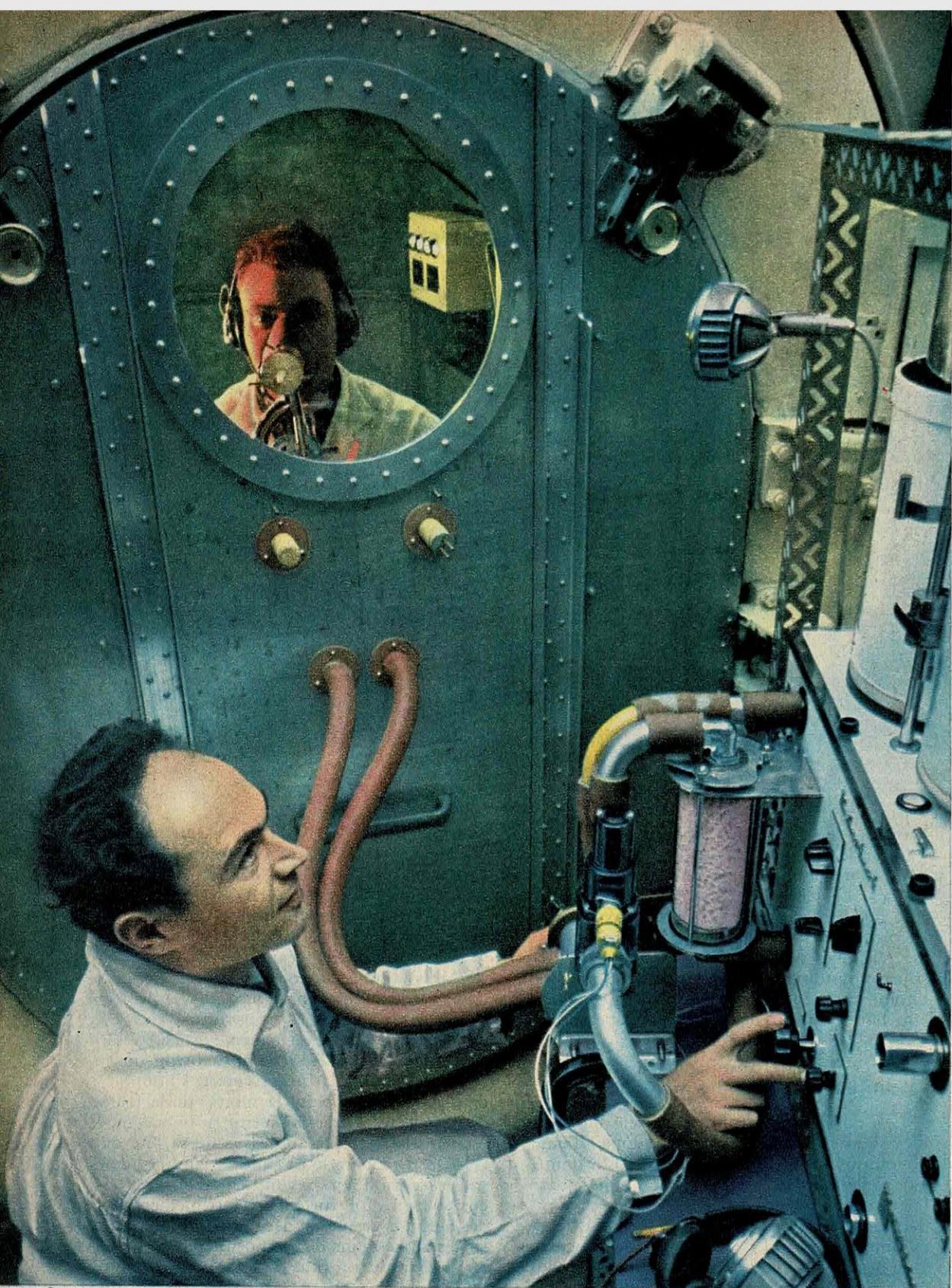
L'homme, animal des grandes profondeurs

Les conditions propres à la vie humaine n'existent qu'à la surface du globe. Toute l'évolution s'est faite dans ce sens. L'homme, par rapport à la masse d'air de l'atmosphère terrestre, est un animal des grandes profondeurs. Quand on le tire de son élément, il est comme un poisson ramené du fond de l'océan. Il a besoin de cette énorme masse d'air qui pèse sur lui à raison de 1 kg par cm² de la surface de son corps. C'est parce que l'air est sous pression que ses poumons se remplissent chaque fois qu'il respire. La pression baro-

métrique au niveau de la mer est de 760 mm de mercure. Elle baisse très rapidement à mesure que l'on s'élève. À 30 000 m, elle est seulement de 8 mm de mercure. À 60 000 m, on ne la mesure déjà plus qu'en millièmes de millimètre.

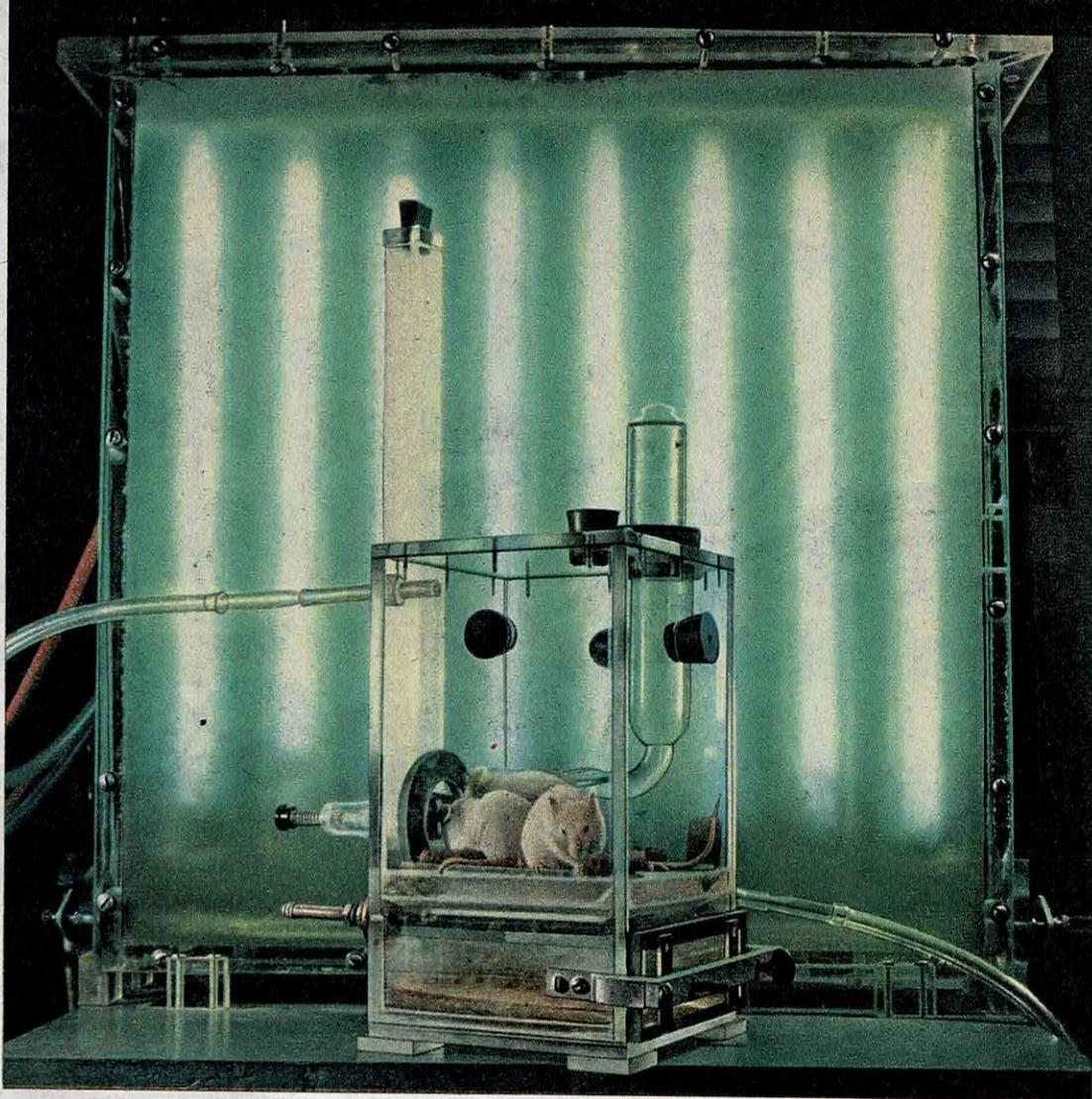
Mais entre notre océan d'air et l'océan marin, il y a une différence essentielle : l'eau conserve la même densité à toutes les profondeurs. L'air, non. La proportion d'oxygène par rapport à l'air reste la même (21 %), à mesure qu'on monte. À 5 500 m, aux trois-quarts de la hauteur du Mont Everest, l'homme a déjà au-dessous de lui la moitié de la masse d'air qui enveloppe la Terre. À 16 000 m, il n'en reste déjà plus au-dessus de sa tête que 1/10. À 32 000 m, le Lt-Colonel Simons, dans son ascension en ballon, en avait traversé 99 %, bien qu'il fût encore terriblement loin des derniers atomes et des dernières molécules lancés aux confins de l'atmosphère.

Au-delà de 140 km d'altitude, il n'y a plus que de pauvres restes d'air dispersés dans une immensité céleste, qui s'éparpillent jusque dans un vague « no man's land » à quelque 2 000 km de la Terre.



(Photo Toscas)

A LA SECTION PHYSIOLOGIE du centre de Brétigny, un médecin spécialiste procède à l'étude des échanges respiratoires d'un pilote que l'on aperçoit à l'arrière-plan enfermé dans une cabine étanche. Cette étude fonctionnelle comporte des mesures de volume, de débit, et une analyse instantanée des gaz expirés.



ALGUES ET ANIMAUX peuvent vivre en symbiose, tout au moins pour les échanges gazeux. C'est ce que démontre cette photo prise aux laboratoires U.S. de la Médecine de l'espace. Le gaz carbonique produit par les souris est absorbé par les algues, vivement éclairées, qui produisent l'oxygène indispensable à la vie animale.

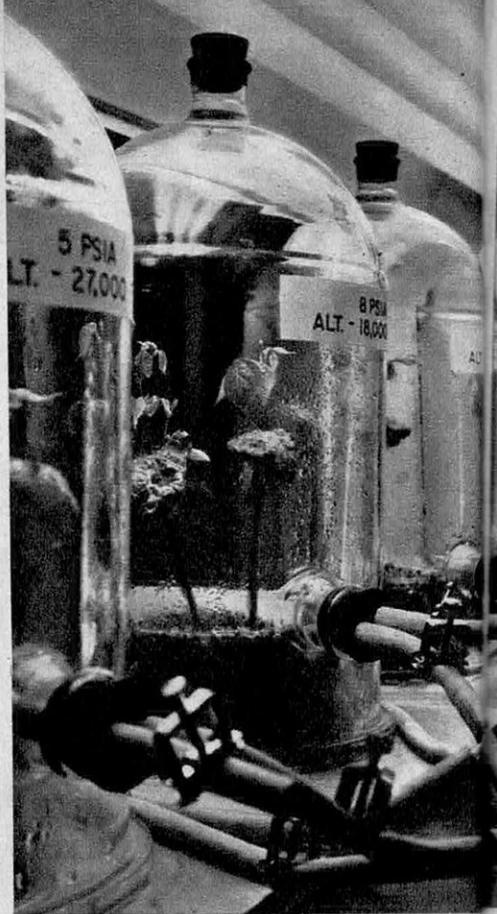
La médecine aéronautique, avant celle de l'espace, a armé l'homme contre ces phénomènes. Des compresseurs d'air maintiennent l'atmosphère des cabines d'avion bien au-dessous de l'altitude effective de vol. Les grands avions de ligne sont ainsi pressurisés. Le pilote militaire, qui vole beaucoup plus haut, respire par un masque un mélange d'air et d'oxygène. A partir d'une certaine altitude, il reçoit de l'oxygène à 100 %. Encore ne pourra-t-il dépasser ainsi 12 300 m, altitude limite à laquelle des troubles d'anoxémie, ou oxygénation insuffisante du sang, commencent à apparaître. La respiration en surpression modérée, 30 mm de mercure, permet d'atteindre 15 000 m pendant un temps évi-

demment court car l'acte respiratoire est inversé : l'homme n'aspire plus mais doit faire effort pour expirer. Il se fatigue vite et la parole devient difficile.

Pour monter plus haut, il faut respirer de l'oxygène sous de fortes surpressions, allant jusqu'à 150 mm de mercure pour le vide. Une telle surpression n'est supportable que si une contre-pression équivalente est exercée sur le corps. C'est le but du vêtement pressurisé partiel, tel que le vêtement stratosphérique français utilisé par les pilotes du Mirage III. Il permet de survivre dans le vide, mais seulement des temps limités, certaines régions du corps (les pieds en particulier) n'étant pas soumises à la contre-pression, ou soumises



LA NOURRITURE SOUS TUBE qu'on exprimera directement dans sa bouche sera probablement la plus pratique, surtout s'il s'agit de liquides, pour les voyageurs de l'espace en état de non-pesanteur.



LA CULTURE DE CAROTTES, betteraves et autres légumes, sera probablement la plus pratique, surtout s'il s'agit de liquides, pour les voyageurs de l'espace en état de non-pesanteur.

seulement à une contre-pression insuffisante du fait du mauvais rendement mécanique de la combinaison.

Pour assurer une mission prolongée, limitée seulement par les réserves d'air et d'oxygène, il faut réaliser un scaphandre aérien ou spatial qui n'est autre qu'un vêtement étanche recréant une atmosphère compatible avec la vie. Il possède l'avantage supplémentaire de pouvoir être ventilé grâce à la circulation de l'air sous pression, tout en laissant une grande liberté de mouvement. Un tel équipement est actuellement à l'essai à Brétigny.

C'est en somme une cabine étanche de secours. De toute façon, pour des vols prolongés à 21 000 m et plus, l'homme doit se claquer dans un caisson hermétique, et emporter avec lui les moyens de fabriquer l'atmosphère qu'il respire pendant son voyage. Ce ne sera pas une « cabine pressurisée » au sens habituel : celle qui prend l'air de l'extérieur et le comprime à l'intérieur d'un avion. Il faudrait pour cela un équipement trop lourd, con-

sommant trop d'énergie et dégageant trop de chaleur. En outre, vers 24 000 m, la composition de l'air s'oppose à ce système, car on pénètre ici dans une région riche en ozone qui est extrêmement toxique, et s'attaque au caoutchouc et au métal. Une fois sorti de cette zone, de toute façon, le véhicule spatial ne trouverait plus assez d'air ambiant pour alimenter un système ordinaire de pressurisation.

Un prototype expérimental d'une telle cabine fonctionne depuis quelques années au centre de Randolph, au Texas. C'est le seul endroit au monde qui permette d'étudier l'homme en vase clos. L'installation a été conçue par le Dr Hans-Georg Clamann, spécialiste de la physiologie respiratoire, ex-Directeur adjoint de l'Institut de Recherche aéromédicale de Berlin, à l'époque le premier homme à s'être soumis aux épreuves audacieuses de décompression explosive, dont les effets n'étaient pas alors connus, et sans vêtements de protection, car il n'en existait pas.



et autres légumes variés sera peut-être possible à bord. L'équipage ne pourra s'alimenter de pilules pendant les longs voyages où on réalise l'« environnement » spatial.

LA BOISSON DES ASTRONAUTES ne pourra être fournie au cours des longs voyages que par de l'eau de récupération. Un alambic comme celui-ci devra récupérer celle des déjections humaines.

Une cabine avant tout confortable

La cabine a pour but de déterminer non seulement les caractéristiques d'un milieu fermé offrant les meilleures chances de survie à un homme, mais aussi celles qui lui conserveront l'usage entier de ses réflexes, de ses facultés mentales, de ses capacités de décision. Il ne sera pas question pour l'astronaute de jouer au Spartiate. Dans le contexte spatial, la notion de « confort » prend une signification nouvelle. On entend réaliser ici les conditions humaines d'efficacité maximum. La cabine doit constituer le milieu le plus propice aux initiatives d'une intelligence d'homme, le milieu le plus « neutre », qui ne risque pas de déclencher en série tous les mécanismes de défenses de l'organisme. On veut éviter le compromis entre l'homme et la machine, tel qu'il existe dans les sous-marins, où l'homme complète simplement la technique. Dans l'espace, l'homme doit être considéré d'abord. On étudie tout spécialement les *rappports sensoriels* entre l'as-

tronaute et son habitacle, car de ces rapports dépend la sûreté de ses jugements. L'idée de confort, vue sous ce jour, couvre les problèmes de pression, de ventilation, de composition des gaz, d'humidité, de température, de position, de bruit, de couleurs, de métabolisme, d'élimination, de cycle d'activité. Il faut savoir, parmi tous les besoins de l'homme sur terre, lesquels sont nécessaires et lesquels superflus. Un problème essentiel : la présentation des instruments. Pendant l'accélération, par exemple, l'homme ne pourra pas tourner la tête. Son champ visuel sera restreint, surtout si l'on songe que, dans l'espace exigü d'une cabine, les instruments de contrôle seront placés très près de ses yeux.

Les expériences dans la cabine de Randolph montrent que l'homme « fonctionne » le mieux à une température de 20° à 22°, avec une humidité de 40 à 50 %. Le gaz carbonique dans l'air (dont une certaine quantité est nécessaire pour stimuler les centres respiratoires du cerveau) doit être maintenu au-dessous de 2 %.



(Photo USAFE)

L'état de non-pesanteur réalisé sur des avions

Quelle « altitude » faut-il créer à l'intérieur de la cabine spatiale ? L'idéal serait bien sûr de reproduire l'atmosphère qui règne au niveau de la mer. Mais cela compliquerait les problèmes structuraux pour le constructeur : l'enveloppe de la cabine doit supporter le moins d'efforts possibles car il faut à tout prix la faire légère. Les médecins ont donc fait une concession aux techniciens : la pression barométrique interne ne sera que la moitié de celle qui sévit au niveau de la mer (donc 380 mm de mercure). Si l'on prend la précau-

L'une des principales caractéristiques des vols spatiaux, dès que les fusées propulsives auront terminé leur action accélératrice et que commencera le vol balistique, sera l'état de non-pesanteur. Il n'y aura

tion d'élever la teneur en oxygène de l'air, l'astronaute n'est pas incommodé. Cela correspond à une altitude de 5 500 m.

Dans la cabine expérimentale, le gaz carbonique est absorbé chimiquement, comme dans les sous-marins. L'haleine et l'évaporation cutanée sont transformées en eau potable ainsi que l'urine.

On étudie sur les « astronautes en chambre » un cycle d'activité qui empêcherait les hallucinations survenant pendant de longues périodes de réclusion. L'expérience a montré



plus ni haut ni bas pour les êtres humains (à droite) comme pour les liquides (à gauche) qu'il sera dès lors impossible de boire sans avoir recours à une poire pour les injecter dans la bouche. Ces deux

expériences ont pu être réalisées en plaçant des avions sur des trajectoires paraboliques analogues à celle que suivrait un obus évoluant hors de l'atmosphère terrestre pour éviter son effet de freinage.

que l'efficacité d'un homme est liée à un rythme constant de travail, de sommeil et de détente. En outre, l'alternance de la nuit et du jour est devenue pour lui un besoin organique. Au cours d'un voyage spatial, la continuité du temps en l'absence d'un cycle diurne et nocturne risque d'affecter gravement son système nerveux. On envisage de créer dans le véhicule un jour artificiel qui aurait entre 18 et 28 heures. Le problème se pose aussi pour le séjour sur d'autres planètes.

Parmi les impondérables de l'espace, il y

a les réactions physiologiques de l'astronaute. Pour en avoir une idée, les Américains ont imaginé de placer des hommes isolément dans une chambre de silence et de ténèbres. L'insonorisation est totale : l'homme n'y entend plus que les bruits de sa propre vie organique, le passage du sang dans ses veines, les battements de son cœur. Il perd toute notion du temps. Un volontaire, qui s'en échappa après 30 heures, croyait y être resté 4 jours. Nul n'a résisté plus de 44 heures.

Ces expériences ont montré que l'homme,

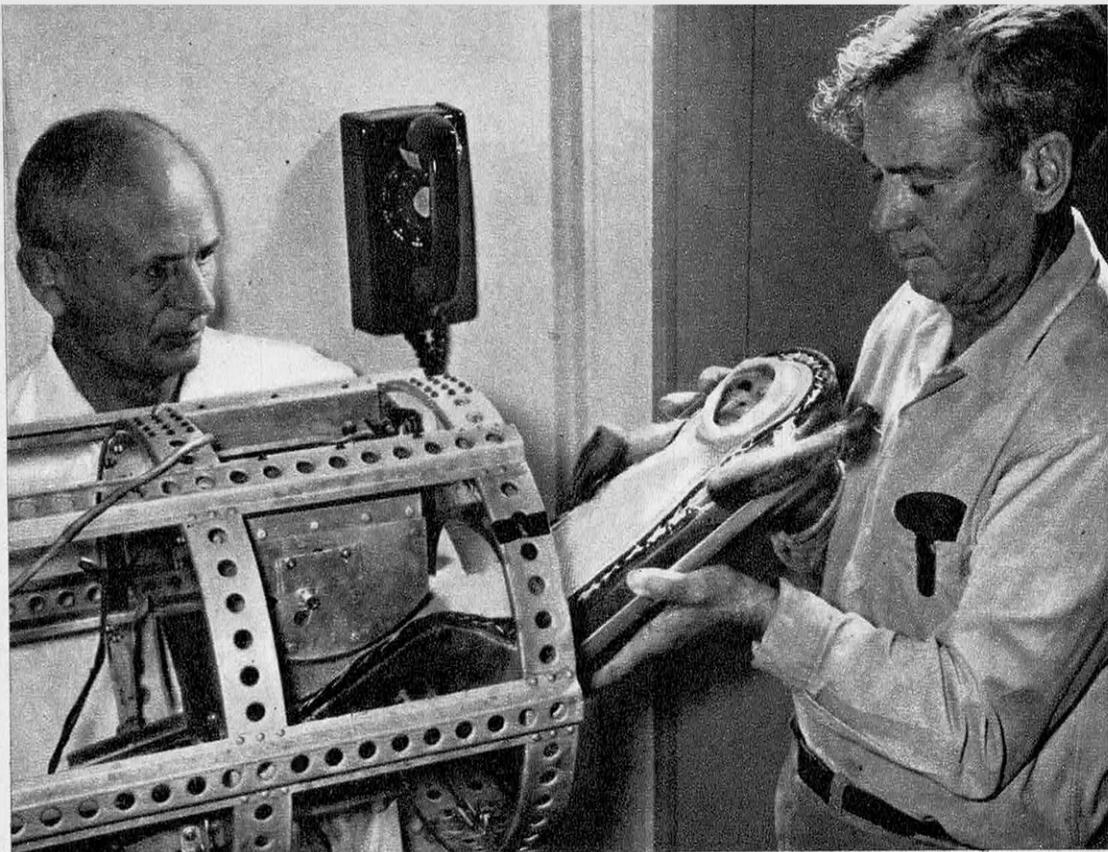


Les singes devancent ← l'homme dans l'espace

Ce n'est pas la première fois que des singes ont été envoyés dans l'espace pour étudier leur comportement : dès le début, les fusées Aerobee ont été utilisées à cet effet et l'on se souvient du récent voyage spatial de Able et Baker qui furent récupérés en Atlantique. Il n'est donc pas étonnant de les retrouver comme premiers passagers des capsules Mercury actuellement aux essais. Sam fut le premier à étreindre la nouvelle capsule propulsée par une petite fusée Little Joe. Il avait été entraîné à accomplir certains gestes conditionnés qu'il eut à répéter au sommet de la trajectoire, en état de non-pesanteur.

privé des stimulants sensoriels auxquels il est accoutumé, est sujet aux hallucinations. Dans l'espace dénué d'horizon et de points de repère, la vue ne trouve rien à quoi s'accrocher. L'oreille n'est plus frappée par les innombrables bruits de la Terre. Le vide perceptuel, rompu seulement par le spectacle monotone d'un tableau de bord, s'ajoutant à une immobilisation quasi-totale, risque de créer des troubles graves. La solitude, l'inactivité induisent un état psychique de renoncement. Le Lt-Col. Simons, qui séjourna 32 heures dans une nacelle de ballon, à 30 000 m, a éprouvé un sentiment de dépersonnalisation étrange : la terre ne l'intéressait plus, et il dut faire de terribles efforts sur lui-même pour accomplir les manœuvres du retour.

Le prototype de cabine spatiale essayé à Randolph ne représente que les conditions, et certaines seulement, d'un satellite habité dont l'autonomie ne dépasserait pas quelques jours. L'homme y emporterait son bagage d'oxygène, d'absorbants de gaz carbonique, de nourriture déshydratée. Concevable pour une petite excursion spatiale, une telle cabine ne se prête absolument pas aux voyages interplanétaires de plusieurs semaines, de plusieurs mois, de plusieurs années. Le trajet Terre-Mars demande 260 jours, autant pour le retour, plus 450 jours sur Mars à attendre une conjonction favorable. Pour Vénus, il faut prévoir au moins 2 ans au total. Au-delà du système solaire, une vie humaine ne suffit plus pour atteindre les astres éloignés de nous par de nombreuses années-lumière. Il est vrai qu'Einstein a prévu un rétrécissement du temps lié aux grandes vitesses, et il n'est pas exclu que ce phénomène physique de relativité s'étende aussi au processus biologique de vieillissement. Quoi qu'il en soit, il n'est plus question d'emporter l'oxygène, les provisions alimentaires. L'homme consomme un



Sam revêtu de sa tunique d'astronaute est introduit dans sa cabine.

minimum de 20 litres d'oxygène par heure, 1,5 tonnes de nourriture par an; les absorbants chimiques sont vite saturés de gaz carbonique. Le poids reste la grande servitude.

La cabine des grands voyages : une petite Terre

Entre le petit parcours et le grand parcours, la technique se trouve devant un abîme à franchir. Elle bute à un problème tout à fait nouveau : comment, dans un réduit fermé, réaliser un système de régénération où tous les sous-produits et déchets du métabolisme humain seraient réutilisés à l'infini ? Les déchets, en plus d'être encombrants, posent des problèmes de toxicité très graves.

Il s'agit donc de recréer, à l'échelle d'une cabine de 7 m³, l'écologie merveilleusement équilibrée de notre Terre elle-même.

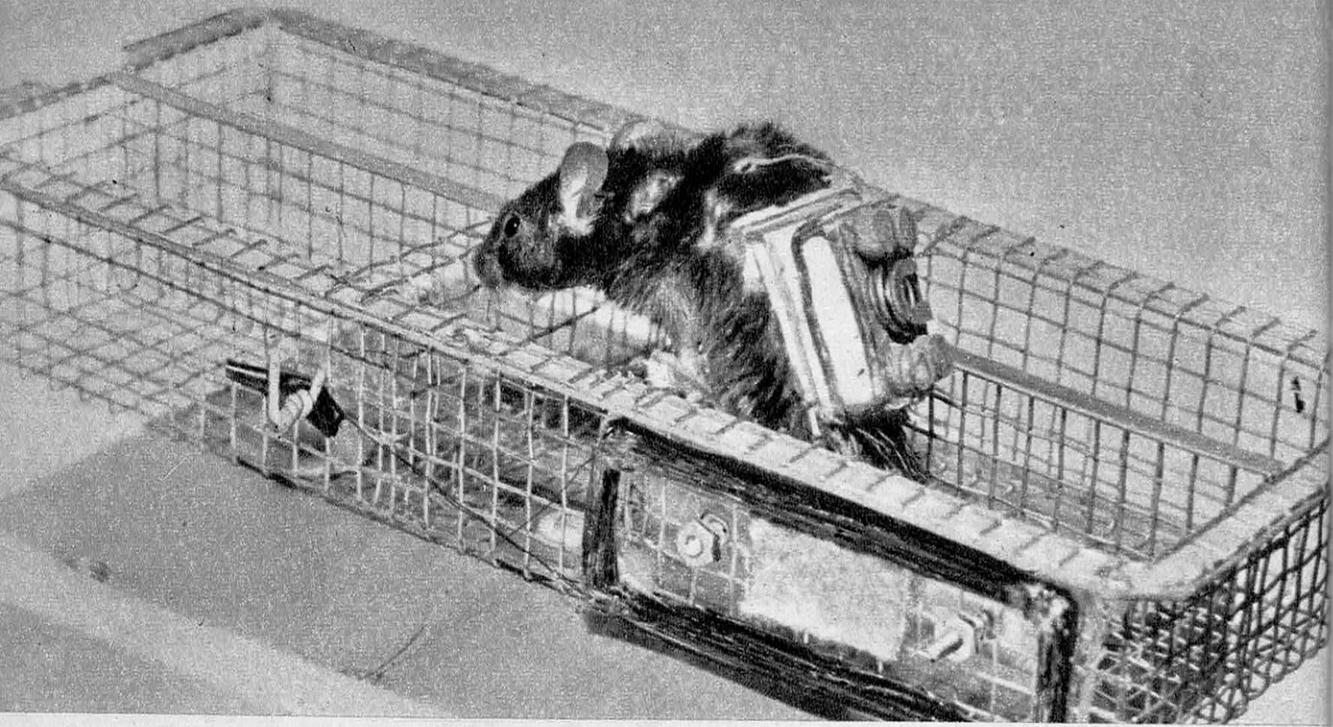
Son atmosphère contient tous les éléments nécessaires aux différentes formes de vie. Les déchets du métabolisme animal servent à la croissance des plantes, et les plantes rendent possible la vie animale. La plante verte prend au Soleil sa lumière, à l'air son gaz carbonique, à la terre divers éléments, dont l'azote et l'eau, et elle en fait de l'oxygène, des hydrates

de carbone, des protéines et des graisses : aliments et oxygène pour l'homme, qui les transforme par la chimie de son corps et retourne les déchets à la terre, sous forme d'engrais, et à l'air, sous forme de gaz carbonique. Ainsi le cycle est fermé et recommence toujours.

L'homme a besoin d'oxygène. Les plantes exigent du gaz carbonique ? La phase photosynthétique de leur métabolisme s'accompagne d'une production d'oxygène, alors qu'elles en consomment pendant la phase obscure. Dans certaines conditions, la production d'oxygène est fortement en excès des besoins de la plante. N'y a-t-il pas moyen de « domestiquer » ce mécanisme d'échanges gazeux entre l'homme et la plante ?

Les savants pensent avoir trouvé la plante qui convient : un organisme unicellulaire, une algue. Dans un sous-sol de Randolph, on fait vivre des souris en circuit fermé avec un aquarium plein de *Chlorella pyrenoidosa* en suspension, illuminé artificiellement. En ce qui concerne les échanges gazeux, on calcule qu'un homme et 2,3 kg d'algues pourraient vivre en symbiose dans une cabine hermétique.

Ces plantes microscopiques se multiplient à un rythme étourdissant : certaines fabriquent 12 fois leur propre poids en 24 heures.



L'homme en laisserait ce qu'il lui faut pour respirer, et « moissonnerait » l'excédent comme nourriture. L'algue est un aliment pratiquement complet : 50 % de protéines, 15 % d'hydrates de carbone, 25 % de lipides, 10 % de principes minéraux. On peut encore augmenter le pourcentage de protéines en remplaçant la lumière blanche par un éclairage bleu. La *Chlorella* possède presque tous les acides aminés indispensables à la santé, et de surcroît, du carotène et des vitamines A, B, et C. Dans une léproserie du Vénézuéla, on a nourri des malades sous-alimentés avec de la soupe d'algue, et leur état s'est vite amélioré.

L'algue n'est sûrement pas encore la solution économique du problème des populations sous-alimentées, mais dans l'espace, 2 kg par jour, avec seulement un petit appoint en vitamines et en minéraux, suffiraient à nourrir un homme. Voilà en même temps résolu le problème des déchets du métabolisme humain : on en fera de l'engrais pour les algues. Ainsi tout sera réutilisé à 100 %.

Les recherches actuelles portent sur des espèces d'algues aux caractéristiques encore plus favorables que la *Chlorella pyrenoidosa*. Entre autres, elles doivent pouvoir utiliser l'urée comme source d'azote et s'accommoder de grands écarts de température.

Mais la pratique est plus difficile que la théorie. L'algue aurait besoin, pour la photosynthèse, d'être continuellement illuminée, et un tel système consomme 1 000 fois plus d'énergie qu'il n'en restitue. Dans l'espace, la seule

source rentable d'énergie est le Soleil. On n'a pas encore réalisé d'équipement suffisamment léger et réduit pour pouvoir être emporté par une fusée.

On ne connaît pas non plus l'effet qu'aura la non-pesanteur sur la croissance des plantes. Le géotropisme, le fait que les plantes possèdent un mécanisme qui les oriente dans leur croissance par rapport à la pesanteur terrestre, qui pousse la tige vers le haut et la racine vers le bas, est encore incompréhensible pour les biologistes. L'algue, il est vrai, n'a ni tige, ni racine, mais la gravitation joue peut-être un rôle dans son métabolisme. Qui sait si dans l'espace elle continuera à se reproduire ?

Une question, aussi, pour les diététiciens : trouver les mille façons de préparer l'algue pour varier les menus !

L'épreuve de l'accélération

Mais avant de conquérir l'espace, l'homme connaîtra, dans l'instant foudroyant qui suivra la mise à feu des moteurs de son engin, une première épreuve : l'accélération. En quelques minutes, il passera de son état d'immobilité angoissée à une vitesse de plus de 40 000 km/h, vitesse de libération qui lui permettra de s'arracher à l'attraction terrestre.

Que devient alors l'homme dans l'ogive de sa fusée ? Des forces écrasantes s'appesantissent sur lui. Son poids apparent, celui de ses membres, de tous ses organes, se multiplie, de graves troubles circulatoires apparaissent.

← Du laboratoire aux fusées

Les souris blanches sont depuis longtemps des animaux de laboratoire et lorsque la place a été trop réduite pour loger des singes à bord des fusées, il était normal que l'on pense à les utiliser. Celle-ci est harnachée d'un ensemble émetteur miniaturisé. Ce sont deux de ses compagnes qui furent placées à bord de la capsule du Discoverer III lancé à Vandenberg.

Dans la vie de tous les jours, en dehors des collisions et des chutes accidentelles, l'homme n'éprouve que des accélérations très faibles. Au niveau de la mer, l'accélération de la pesanteur est de l'ordre de 10 m/s^2 , valeur représentée par la lettre *g*. Mais le parachutiste subit, au moment où il ouvre son parachute, des décélérations de 12 *g*, pendant quelques secondes. Lorsqu'un pilote est projeté par son siège éjectable, il encaisse momentanément 18 *g*. Déjà, dans des circonstances fréquentes de vol supersonique, avec seulement 2 *g* d'accélération, le pilote est plaqué contre son siège, ses extrémités s'alourdissent et il a du mal à les bouger. De 3 à 4 *g*, valeurs couramment atteintes dans un virage par un chasseur moderne, l'homme doit faire un effort immense pour lever la main. On a vu des pilotes tomber dans le coma à 5 *g*, et d'autres survivre à des décélérations, de très courte durée il est vrai, de 40 à 50 *g*, au moment où leur avion s'écrasait, mais fortement commotionnés et souffrant de lésions internes.

Les effets physiologiques de ce phénomène peuvent être graves. Les globes oculaires s'affaissent, le cristallin se décentre. Le cœur ne pompe plus, le sang s'accumule aux extrémités, le cerveau, très exigeant en matière d'approvisionnement en oxygène, n'est plus irrigué. Les viscères, plus ou moins lâches, s'écrasent les uns contre les autres. La vision se brouille (« voile gris »), puis, les cellules n'étant plus oxygénées, c'est le « black-out ». A l'inverse, quand l'accélération s'exerce vers le bas, le sang afflue au cerveau; c'est le « voile rouge », d'où l'on passe au coma. Même sans aller jusque là, on peut craindre des troubles circulatoires et psychomoteurs, des dérèglements dans les labyrinthes des oreilles, causant une désorientation durable, et enfin un affaiblissement permanent de la vision périphérique. Dans une fusée, les accélérations se compliquent de mouvements vibratoires divers.

Les effets de la force centrifuge étant identiques à ceux de l'accélération, on éprouve la résistance humaine, et celle aussi du matériel, sur d'énormes carrousels capables d'accumuler un nombre de *g* bien supérieur à ce que

l'homme aura à endurer au décollage et au moment où les moteurs des étages successifs de la fusée entreront en action.

Le Centre d'Essais en Vol de Brétigny dispose d'une des centrifugeuses les mieux conçues au monde. La nacelle, qui pour les sujets humains est une sorte de cylindre de 3 m de diamètre, pourvue de l'équipement de pilotage classique (siège éjectable, manche, palonnier) et capable de provoquer des accélérations dans plusieurs directions, tourne au bout d'un bras de 6 m. Une nacelle plus petite sert aux animaux et au matériel. Les réactions physiologiques sont consignées sur un enregistreur à plumes à 12 voies, précédé d'amplificateurs à vibreurs, et doublé d'enregistreurs photographiques. La télévision en circuit fermé permet aux médecins d'observer à chaque instant le visage du sujet. La centrifugeuse de Brétigny est capable d'atteindre 15 *g* en 1 seconde, pour la nacelle humaine, et 40 *g* en un peu plus d'une seconde pour la nacelle matériel.

Pour combattre les « g »

Avec de tels appareils on a déterminé les meilleures conditions de résistance humaine. Outre les vêtements « anti-*g* » qui compriment les jambes et le bas-ventre, rétablissant la pression artérielle et refoulent le sang vers le cerveau, il faut une position semi-couchée, la tête attachée de façon que la ligne représentant la direction de l'accélération soit perpendiculaire à l'axe qui passe par les deux labyrinthes de l'oreille. L'homme est alors capable d'une certaine activité mentale, il arrive à s'exprimer par monosyllabes et peut remuer la main et le poignet. Il ne faut pas trop lui demander à ces moments-là, mais les Américains insistent beaucoup sur l'inconvénient qu'il y aurait à lui laisser perdre conscience entièrement.

On a également essayé d'accélérer des sujets plongés dans l'eau. La poussée de l'eau vient en quelque sorte compenser la force d'inertie que le corps oppose à l'accélération. Le principe d'Archimède entre en jeu. Le poids du fluide déplacé, à mesure que s'ajoutent les *g*, croît dans les mêmes proportions que le poids de l'homme. Les deux forces, extérieure et intérieure, s'équilibrent pratiquement. La tolérance humaine augmente avec cette méthode, mais son avantage tient surtout dans la liberté de mouvement qu'elle laisse, et le fait qu'elle n'est pas prolongée par des anomalies résiduelles.

Pour l'homme dans sa fusée, l'accélération est bientôt remplacée par une sensation inédite : la non-pesanteur, corollaire de l'accélération. De même que le poids apparent peut

être multiplié, il peut devenir nul si aucune force extérieure n'agit plus sur le corps. Les moteurs une fois coupés, le véhicule spatial une fois placé en vol libre dans sa trajectoire parabolique ou elliptique hors de l'atmosphère qui le freinerait, soumis, autrement dit, aux seules forces de la gravitation universelle, qui s'exerce aussi bien sur l'astronef que sur ses occupants, la pesanteur apparente est nulle.

L'homme aux prises avec la non-pesanteur

Ce phénomène préoccupe la médecine spatiale : comment affectera-t-il l'homme ? Malheureusement, il est impossible de le recréer en laboratoire. Toutes sortes de méthodes ont été proposées et même essayées, bien qu'elles ne puissent manifestement y parvenir : faire flotter les sujets dans l'eau, les coucher sur des matelas d'air comprimé ou de mousse, etc. On a essayé aussi de retenir l'impression fugitive qui accompagne les premiers moments d'une chute, d'un plongeon, de la retombée du sommet d'une montagne russe, ou d'une descente rapide en ascenseur. Mais, sur notre Terre, on n'échappe jamais pour bien longtemps à la sensation de pesanteur.

Le seul moyen est de mettre un avion sur une trajectoire parabolique semblable à celle que suivrait un obus d'artillerie s'il n'y avait pas d'atmosphère.

Pendant au plus quelques secondes, les occupants de l'avion se trouvent en état de non-pesanteur par rapport à la carlingue. L'expérience laisse une impression variable avec les individus, et qui va de la nausée à l'euphorie. Mais comme on ne dépasse jamais plus de 50 secondes, il est difficile d'en tirer des conclusions valables pour les vols spatiaux.

On ne s'attend pas à des troubles cardiaques, pulmonaires ou digestifs. Par contre, le sens de l'orientation et la coordination musculaire seront gravement affectés. L'homme possède un réseau de nerfs sensoriels qui ont leurs terminaisons dans l'oreille et à divers points du corps, et rendent compte au système nerveux central de la position du corps par rapport au monde qui les entoure. On peut prévoir de sévères perturbations nerveuses quand ce rapport sera coupé.

L'homme devra s'habituer à une nouvelle activité musculaire. Le jour où son véhicule sera assez spacieux pour lui permettre d'y évoluer, il devra réapprendre à marcher, à bouger ses membres, à saisir des objets, à exercer tout juste la force qu'il faut pour vaincre l'inertie. Pendant son sommeil, il faudra l'attacher ; un faux mouvement, ou simplement le souffle de ses narines, suffirait à le

propulser à travers la cabine. D'ailleurs, être couché sur le dos ou le côté, ou ne pas être couché du tout sera sans signification. L'astronaute devra se servir d'une poire à injection pour boire. Il n'est pas question de faire sortir un liquide d'un récipient en vidant celui-ci : une fois dans l'espace, il se maintiendrait sans support, en se mettant en boule sous l'effet de la tension superficielle. L'absence de pesanteur empêchera la circulation de l'air par convection, et il faudra prévoir un bon système de ventilation et de contrôle thermique pour compenser cet inconvénient.

On envisage de contrecarrer la non-pesanteur par une force de gravitation artificielle, en faisant tourner la cabine sur son axe. La force centrifuge redonnerait aux passagers un poids apparent et les accolerait à la paroi, qui deviendrait ainsi le « plancher ». Cela créerait une situation bizarre : l'astronaute marcherait sur un sol incurvé, et serait renversé par rapport à un compagnon de voyage debout à l'opposé de la cabine. L'homme serait en outre sujet à des changements de poids continus suivant la direction de ses déplacements à l'intérieur de la cabine. Dans l'avenir, pour les très longs voyages, la propulsion ionique ou photonique fournira bien une accélération continue, mais beaucoup trop faible pour rétablir les conditions qui règnent sur la Terre.

Chaleur et radiations

Parmi les autres préoccupations des médecins de l'espace, il y a le problème des hautes températures, puisque privé de la protection qu'offre l'atmosphère terrestre, avec ses propriétés d'isolant thermique, le véhicule interplanétaire subira, côté Soleil, toute l'intensité des rayonnements solaires, et marquera, côté ténèbres, la température du froid spatial. Pour se débarrasser de la chaleur, il faudra de larges surfaces rayonnantes. A l'intérieur, l'homme lui-même est une véritable usine produisant quelque 100 grandes calories par heure, de quoi faire monter en très peu de temps la température à des niveaux intolérables.

Autour du monde artificiel de la cabine, il n'y a plus d'atmosphère pour filtrer les radiations dangereuses et mal connues. Physiciens et biologistes s'accordent à penser que les radiations solaires de basse intensité pourraient être facilement arrêtées par des écrans. Contre les particules cosmiques de grande énergie, on est plus dépourvu : il faudrait un blindage trop épais. L'utilisation d'un puissant champ électromagnétique pour détourner les particules ne semble pas non plus une solution rentable. Finalement, l'espoir réside dans les expériences animales à haute altitude, d'où



LA PREMIÈRE PASSAGÈRE à bord d'un satellite fut la célèbre chienne russe Laïka. Contrairement aux Américains qui utilisent surtout des singes, les Russes ont préféré des chiens. Leur entraînement aux vols spatiaux a été très poussé. En voici un qui est muni de sa combinaison anti-g et de son scaphandre très complet.

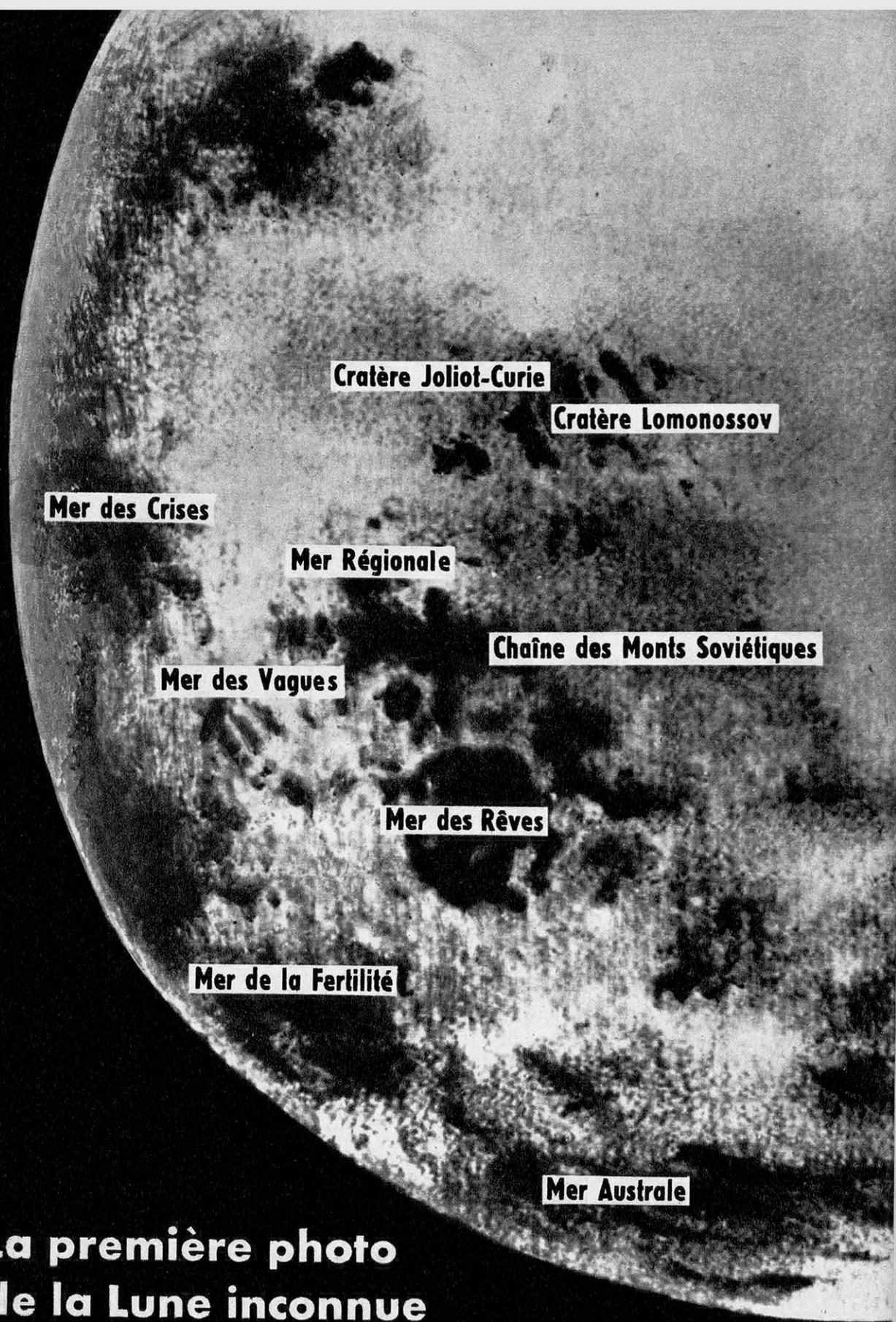
l'on tire des arguments statistiques assez optimistes sur la tolérance des organismes aux radiations. Des mutations génétiques n'étant à craindre qu'au moment de divisions cellulaires, assez rares chez l'homme mûr, certains chercheurs pensent que, dans l'espace, le danger des radiations est négligeable. Ce sont aussi des raisons statistiques sur la fréquence des météorites qui autorisent l'espoir de ce côté : la Queen Mary en plein Atlantique a plus de chance d'être atteinte par un avion qui tomberait du ciel, qu'une cabine spatiale par un météorite capable de la faire éclater. La loi des probabilités est du côté de l'homme.

Mais tant d'épreuves insolites le guettent dans l'espace, qu'on a pensé qu'il valait peut-être mieux mettre les astronautes en état d'hi-

bernation, d'hypothermie profonde, ou d'anabiose (condition de vie suspendue, où les besoins en nourriture, en eau et en oxygène sont mis « en veilleuse »). On les réanimerait au retour. Ces moyens ont été proposés pour de très longs voyages, ce qui permettrait de tenir des membres d'équipage en réserve, et de les tirer du « frigidaire » pour remplacer ceux qu'aurait affaiblis, par exemple, la vieillesse.

Mais la médecine spatiale répugne à ces tricheries. Elle n'entend pas seulement maintenir l'homme plus ou moins en vie dans une cabine spatiale. Elle veut qu'il puisse dominer cette extraordinaire aventure et devenir le maître de l'espace comme il est déjà celui de la Terre.

G. DUPONT



Mer des Crises

Mer Régionale

Mer des Vagues

Mer des Rêves

Mer de la Fertilité

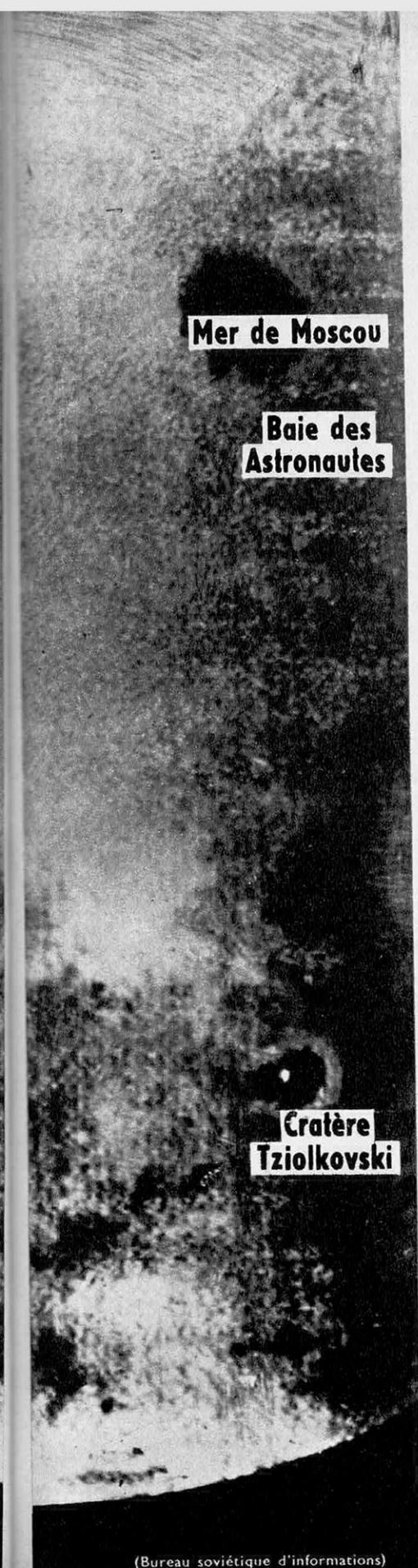
Mer Australe

Cratère Joliot-Curie

Cratère Lomonossov

Chaîne des Monts Soviétiques

**La première photo
de la Lune inconnue**



Mer de Moscou

**Baie des
Astronautes**

**Cratère
Tziolkovski**

Ce qu'ont révélé les satellites

LE lancement de satellites artificiels, puis de projectiles sur la Lune et au-delà ouvre devant nous une ère nouvelle, celle de l'exploration de l'espace. Il serait vain de prétendre en prévoir dès maintenant toutes les conséquences. A coup sûr, elles ne seront pas moindres que celles des grands voyages de découvertes, qui ouvrirent des continents à notre civilisation. En premier lieu, nous avons désormais les moyens de récolter une riche moisson de connaissances scientifiques nouvelles. Il ne s'agit pas là d'une affirmation optimiste gratuite. Nous allons le montrer en exposant les résultats obtenus, en un délai remarquablement court, par les premiers satellites.

Ce sont avant tout, on le verra, des découvertes scientifiques pures. Mais l'histoire nous apprend qu'à la longue ces recherches scientifiques rapportent toujours des avantages pratiques d'une très grande valeur.

Parmi les domaines pratiques qui seront appelés à bénéficier les premiers des progrès actuels, se trouve évidemment la météorologie; elle doit profiter notamment des connaissances récemment acquises sur l'atmosphère supérieure et aussi de la surveillance des nuages et de leurs mouvements sur de très vastes espaces, par photographie à haute altitude, réalisée avec plein succès à plusieurs reprises. Il est inutile de souligner l'énorme valeur économique que constituerait une prévision précise du temps à l'échelle mondiale.

L'atmosphère supérieure et l'ionosphère

Jusqu'au début du vingtième siècle, jamais un engin lancé par l'homme n'avait atteint une altitude de 10 km. Depuis 1900, d'abord à l'aide de ballons, puis à partir de 1945 au moyen de fusées, on a réussi à explorer la haute atmosphère jusqu'à des altitudes de plus en plus grandes. On a mesuré la pression, la densité, la température jusque vers 220 km; on a étudié la distribution de l'ozone et les couches électrisées.

Cependant, dans ces vols suivant la verticale, les fusées ne traversaient que très rapidement les hautes couches et les informations pour les altitudes dépassant 180 km restaient contradictoires.

Les satellites artificiels ont non seulement atteint des altitudes bien supérieures, mais ils ont aussi permis de recueillir d'une manière quasi permanente des renseignements précieux sur les diverses couches traversées.

Le freinage des satellites

En premier lieu, la densité a pu être déduite du freinage observé sur les trois premiers satellites russes. Tous les trois avaient des orbites elliptiques autour de la Terre et le point le plus proche, le périégée, était sensiblement à la même altitude, 230 km. A cette hauteur, le freinage s'était révélé beaucoup plus important qu'on ne l'imaginait, parce que la densité de l'air est environ sept fois celle que l'on croyait.

Si le freinage était absolument négligeable, le satellite repasserait, après une révolution, exactement à la même altitude. En fait, à cause de la résistance de l'air, le projectile se rapproche peu à peu de la Terre et, à chaque tour, l'orbite se trouve à l'intérieur de l'orbite décrite précédemment. Pratiquement, le freinage est mis en évidence par une mesure très simple et très précise : la diminution de la durée des révolutions. Ainsi pour le Spoutnik I, dont la période était de 1 h 36 mn, on a observé, dès le début, une avance dépassant un peu 2 secondes par jour. Spoutnik III a, grâce à sa masse considérable de 1 326 kg, une vie plus longue que les deux premiers satellites; avec lui, les soviétiques ont déjà recueilli au moins 105 000 mesures par radio et 35 000 observations optiques. Leur analyse a permis d'évaluer les variations de la densité avec l'altitude. On avait d'ailleurs installé, à bord de Spoutnik III, des manomètres spéciaux pour mesurer la pression entre 225 et 500 km. De plus, cette pression, en même temps d'ailleurs que la densité et la température, ont été déterminées par d'autres métho-

des, plus ou moins détournées et ingénieuses, notamment par l'observation d'un nuage de vapeurs de sodium, libérées à haute altitude. Déjà réalisée avec les Aerobee, cette expérience fut reprise avec Lunik I, puis avec Lunik II. A très basse pression, le sodium s'est évaporé très rapidement; sous l'effet du rayonnement solaire, cette vapeur s'est illuminée pour donner la lumière jaune bien connue des lampes à sodium. On sait depuis longtemps que c'est par ce mécanisme que les comètes émettent les raies du sodium, lorsque leur noyau a subi, en se rapprochant assez près du Soleil, un échauffement suffisant pour vaporiser le métal. C'est par l'étude spectroscopique du nuage de sodium — lorsque Lunik II l'a lâché à 152 000 km de la Terre, il fit l'effet d'une étoile de 4^{ème} grandeur malgré ses 600 km de diamètre — que l'on a déterminé la pression et la température à cette altitude.

Les variations singulières de la température

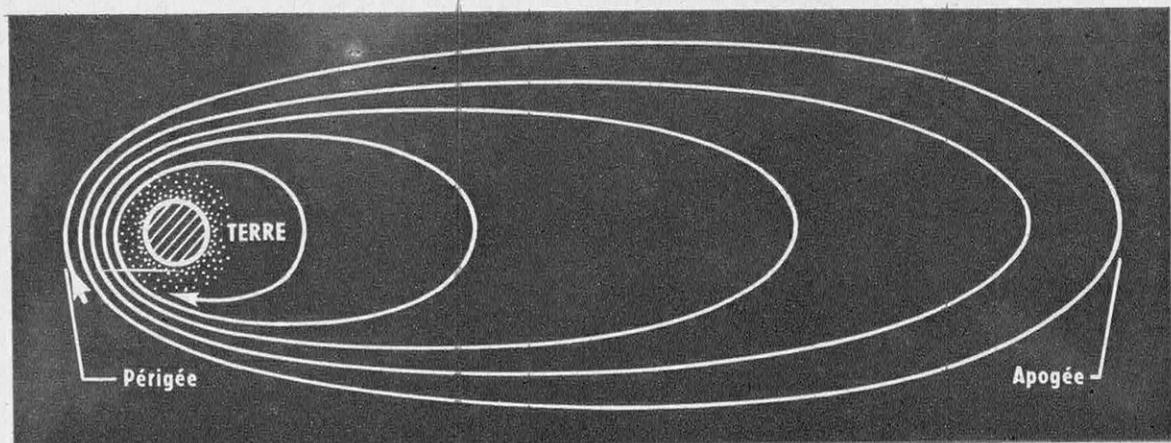
Les résultats relatifs à la température parlent mieux à l'imagination que ceux concernant les densités. Il s'agit, bien entendu, de la température de l'air environnant et non de celle qui peut régner à l'intérieur des engins. Cette dernière dépend de la plus ou moins grande absorption du rayonnement solaire; elle varie donc avec la nature du revêtement. Pour tous les projectiles lancés jusqu'ici, elle est restée comprise entre + 10 et + 45° C, lorsqu'ils étaient exposés au Soleil.

Entre le sol et 100 km d'altitude, on observe une variation singulière de la température, que nous rappellerons tout d'abord : — diminution régulière de 7 degrés environ par km entre le sol et 10 ou 12 km; — température constante (— 55° C environ) dans la stratosphère, c'est-à-dire sensiblement entre 10 et 25 km;

— au-dessus de 30 km, croissance de la température qui passe par un maximum un peu inférieur à 0° C vers 48 km;

— décroissance au-delà jusqu'à — 90° C vers 85 km, et enfin montée vers 100 km (— 70° C).

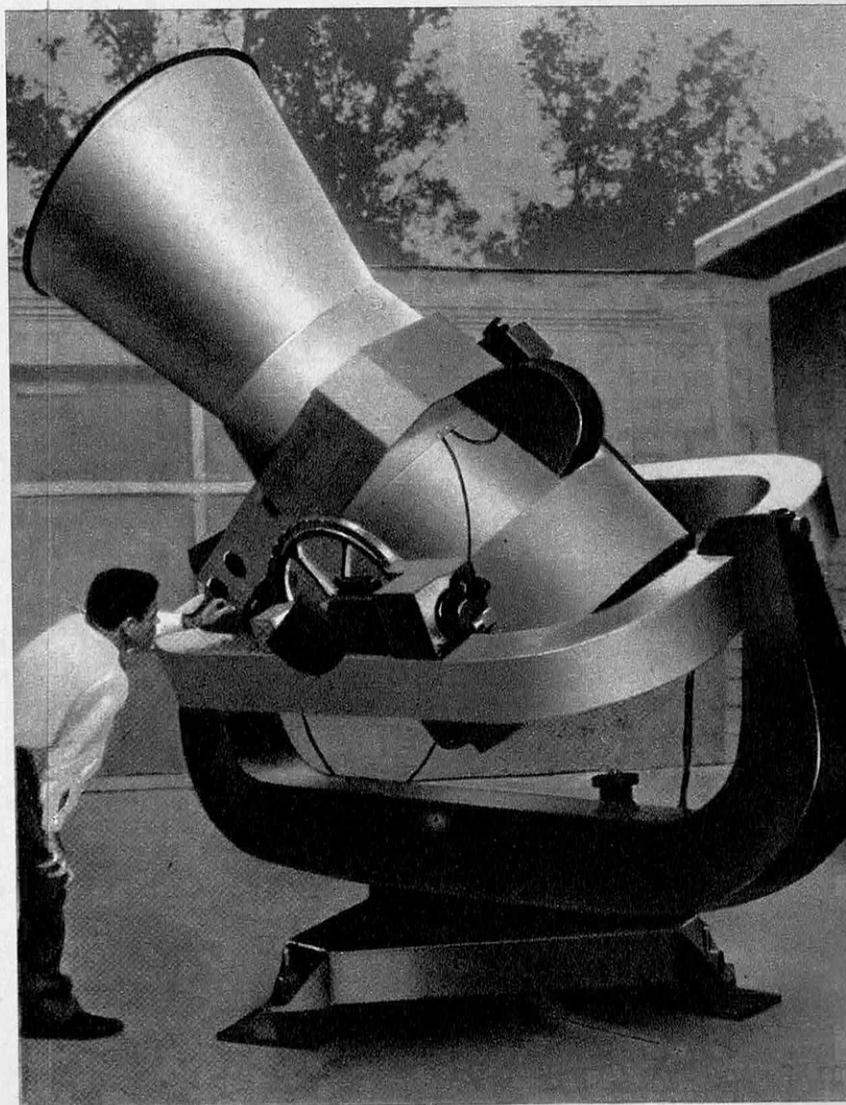
Au-delà, la croissance se poursuit, si bien que l'on obtient des valeurs atteignant 1 000° C et même 2 000° C entre 500 et 700 km. Ces valeurs élevées de la température aux grandes altitudes ne signifient pas du tout un danger pour les futurs astronautes. Il s'agit pourtant bien de la température de l'air, telle qu'on la définit dans la théorie cinétique des gaz : les molécules ou les atomes des gaz sont animés de mouvements désordonnés, dont l'énergie cinétique moyenne est proportionnelle, d'après cette théorie, à la température,



Ellipses successives dues au freinage du satellite par l'atmosphère terrestre.

L'observation photographique des satellites

C'EST grâce à des caméras de ce type, construites par la Perkin-Elmer Corporation et installées en plusieurs stations du globe, que les Américains ont pu déterminer les positions des satellites sur leur trajectoire avec une grande précision. Comme l'indique le schéma ci-dessus, les trajectoires dessinent une succession d'ellipses qui s'enroulent à l'intérieur les unes des autres sous l'effet du freinage subi par le satellite, au périgée, dans une atmosphère de plus en plus dense. Les observations simultanées de plusieurs stations ont en outre permis le rattachement précis de certaines îles du Pacifique au continent américain. L'étude des déformations des ellipses a renseigné sur la vraie forme de la Terre et sur la densité de son atmosphère dans les très hautes altitudes.



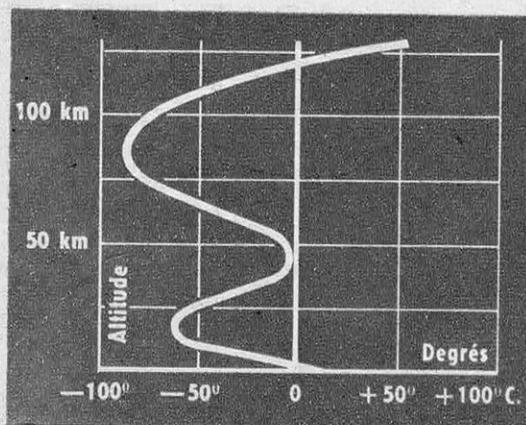
absolue du gaz (obtenue en ajoutant 273° à la température centésimale). Une température élevée signifie de grandes vitesses d'agitation thermique. Les chocs des particules formant le gaz ambiant contre les parois de la nacelle cèdent bien de l'énergie à celles-ci. Mais la fréquence des collisions est proportionnelle à la pression et, à très haute altitude, cette dernière est si faible que la chaleur cédée à la nacelle est absolument négligeable. C'est à la traversée des couches basses et denses de l'atmosphère qu'il y a freinage et échauffement.

Deux autres caractéristiques remarquables ont été mises en évidence. Pour une même altitude, la température est, en moyenne, nettement plus élevée au-dessus des régions polaires qu'au voisinage de l'équateur. D'autre part, en un point donné, on observe des variations très importantes de la température — plusieurs centaines de degrés — et, corrélativement, de la densité. Ces variations témoignent l'état d'extrême agitation de la haute atmosphère.

Le problème du bilan thermique de ces hautes couches se trouve posé. Il faudra élucider les causes de ce sensationnel réchauffement. Ces questions se trouvent liées à nombre d'autres, en premier lieu à la composition de la haute atmosphère.

Les gaz à haute altitude

Depuis longtemps déjà, diverses considérations avaient permis d'affirmer qu'au-dessus de 100 ou 120 km d'altitude l'oxygène est à l'état atomique, tandis que dans l'air ambiant les atomes d'oxygène sont unis deux par deux, en molécules. De nouvelles informations, très



LA COURBE DES TEMPÉRATURES en fonction de l'altitude montre deux minimum très nets vers 25 et 85 km. La température croît ensuite, atteignant plusieurs milliers de degrés au-delà de 700 km.

précieuses, ont été obtenues grâce à Spoutnik III. Un spectrographe de masse, installé à son bord, a mesuré les masses des différents ions positifs rencontrés jusque vers 1 000 km d'altitude. Ceux qui dominent ont pour masse 16; ce sont donc des ions d'oxygène atomique. Mais à 950 km d'altitude l'azote également se trouve uniquement à l'état d'atomes. La proportion d'azote atomique varie avec l'altitude et la latitude; elle augmente vers les pôles. Des fluctuations sporadiques sont vraisemblables. Le spectrographe de masse a montré, de plus, à la surprise générale, la présence en proportions notables, d'ions d'oxyde d'azote (NO) jusque vers 350 km.

L'ionosphère et les ondes radio

Un autre sujet d'études, en étroites relations avec les précédents, est celui de la structure de l'ionosphère. Rappelons que les ondes de la radio se propagent, comme la lumière, en ligne droite; celles de courte longueur en particulier, en raison de la courbure de la Terre, n'auraient qu'une portée très limitée à sa surface si elles ne possédaient la propriété d'être réfléchies par des couches électrisées présentes dans la haute atmosphère. L'existence et les propriétés de ces couches avaient été déterminées, jusqu'ici, à partir du sol, en étudiant cette réflexion. Ces connaissances ont une importance pratique considérable, pour l'organisation des radiocommunications. On comprend l'intérêt que présente l'exploration directe de ces couches, au moyen des fusées ou des satellites. Il devient possible de mesurer sur place la densité des ions et même, nous l'avons dit plus haut, de déterminer la nature de ces ions. Les renseignements précis ainsi obtenus intéressent au plus haut point les théoriciens qui s'occupent des phénomènes de la haute atmosphère. En gros, l'image des couches électrisées nettement séparées, qui était couramment admise, paraît représenter assez mal la réalité. Les régions de grande ionisation se superposent l'une l'autre avec seulement dans le domaine commun intermédiaire une ionisation un peu moins forte. Dans certains intervalles l'ionisation croît très vite avec l'altitude. Un déplacement dans le sens horizontal met en évidence des variations irrégulières rapides, qui démontrent, une nouvelle fois, l'état d'agitation de la haute atmosphère. Elles produisent pour les ondes de radio, une scintillation analogue à celle qu'éprouve la lumière nous parvenant des étoiles due au manque d'homogénéité de l'atmosphère.

Dans les mesures dont il vient d'être question, il faut prendre évidemment des précau-

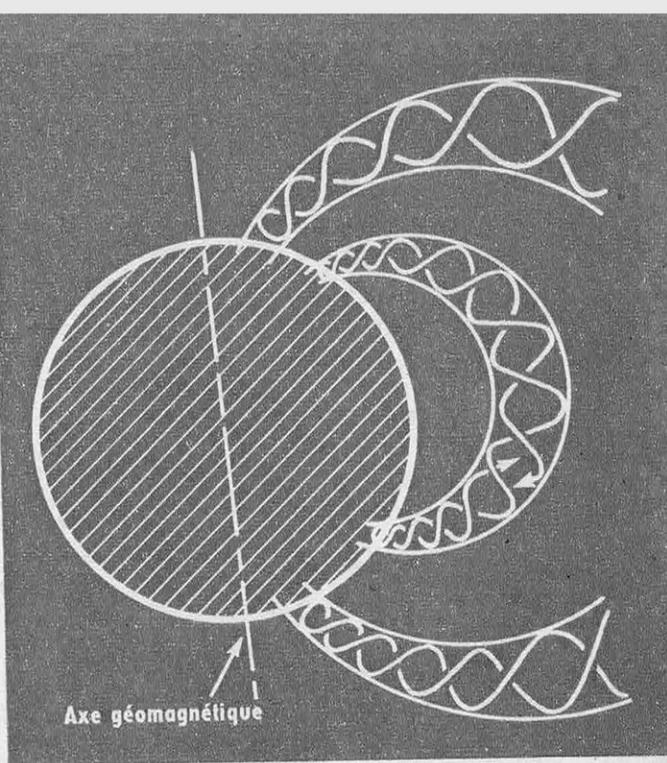
tions. Le projectile arrivant à grande vitesse fragmente atomes ou molécules sur son passage et crée ainsi une ionisation locale supplémentaire. On sait que, dans le cas analogue des météorites, cette ionisation locale est mise à profit, depuis quelques années, pour déceler leur passage au moyen des radars et que cette méthode présente, entre autres avantages, celui de pouvoir être employée de jour. Cette technique a été utilisée par le physicien américain J.D. Krauss pour suivre la fin de Spoutnik I; après la chute de la partie principale, des fragments auraient continué leur route pendant plusieurs jours. L'ionisation due aux météorites a même pu être mise à profit pour réaliser des communications sur ondes ultracourtes entre postes distants sur la Terre de plusieurs milliers de kilomètres.

Un phénomène remarquable, qui était déjà connu, a été observé avec une grande netteté pour les signaux émis par les satellites. On l'appelle l'effet d'antipodes : la puissance des signaux captés croît franchement vers le point situé à l'antipode de l'émetteur. Tout se passe comme si une part des ondes se trouvait focalisée vers ce point, après une série de réflexions sur les couches ionosphériques et sur le sol.

Les ceintures de radiations autour de la Terre

Un des résultats les plus importants obtenus par exploration de l'espace autour de la Terre est la découverte des ceintures de radiations enveloppant à grande distance notre globe. Le mot découverte est celui qui convient car les phénomènes étaient entièrement inattendus. La preuve en est que lors des premières explorations les appareils destinés à mesurer à bord des satellites l'intensité des radiations furent bloqués au maximum de leur trajectoire. Pourtant, dès 1953, des fusées américaines explorant la haute atmosphère avaient décelé la base de ces ceintures.

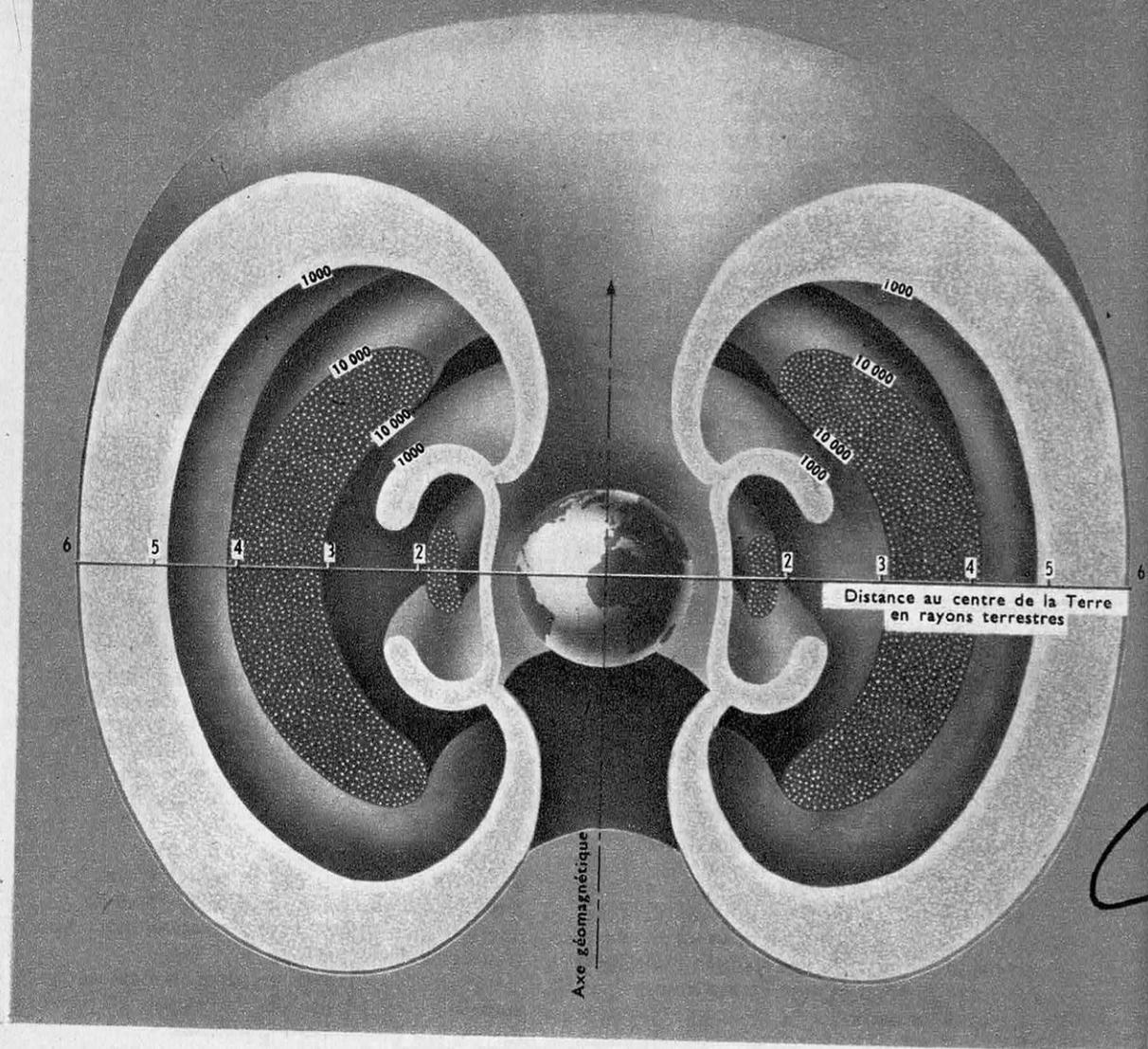
Les mesures en question étaient rattachées, au moins initialement, au problème des rayons cosmiques et de leur origine. On sait que ces rayons sont des particules — surtout des protons ou noyaux d'hydrogène — qui arrivent des profondeurs de l'espace avec des vitesses pouvant presque atteindre celle de la lumière. Dans les couches supérieures de l'atmosphère, ces particules heurtent les atomes ou molécules présents. Au niveau du sol, nous ne pouvons observer que les particules complexes qui nous parviennent, résultats de ces collisions extrêmement violentes. On comprend tout l'intérêt que présente l'étude des rayons cosmiques primaires, tels qu'ils sont avant ces



CAPTÉES PAR LE CHAMP MAGNÉTIQUE terrestre les particules chargées parcourent des hélices dont le pas diminue quand les lignes de force convergent; elles sont éventuellement réfléchies.

chocs. Parmi eux figurent des rayons mous ayant un faible pouvoir de pénétration; ils ne descendent pas jusqu'au sol; ils perdent leur énergie par chocs dans les couches supérieures de l'atmosphère.

Les fusées avaient montré un net accroissement de la densité des radiations au-dessus de 50 km, aussi bien d'ailleurs — et ce fut une surprise — aux basses latitudes que dans les régions polaires. Mais ces mesures n'avaient pas fait soupçonner l'extraordinaire flux parvenant aux plus grandes distances, qui a été mis en évidence, pour la première fois, par la série des satellites américains Explorer. Ils avaient pour mission de mesurer l'intensité globale du rayonnement. Pour le premier, l'Explorer I, lancé le 31 janvier 1958, il semble qu'on ait eu l'intention de le placer sur une orbite sensiblement circulaire; un excès de vitesse lui donna, au contraire, une orbite très excentrique (périgée à 360 km, apogée à 2 530 km). Ce parcours se révéla très favorable car il révéla que, lorsque le véhicule s'éloignait de la Terre, l'intensité du rayonnement croissait au-delà de toutes les prévisions. Ces résultats furent confirmés par l'Explorer III, qui, par l'effet d'un mauvais réglage, se trouva voguer entre 195 et 2 810 km. L'altitude minimum était trop faible et le freinage était sensible; la vie de l'Explorer III fut



donc relativement courte, de l'ordre de trois mois; ses batteries furent d'ailleurs épuisées encore plus tôt. Les mesures recueillies furent néanmoins nombreuses et précieuses. Mais leur interprétation laissait quelques doutes sur la nature des radiations.

L'Explorateur IV fut lancé, le 26 juillet 1958, pour réaliser une véritable analyse de ce rayonnement. Pour étendre l'exploration vers les grandes latitudes, on choisit une orbite faisant un angle de 50° avec l'équateur (pour les vols précédents, cet angle était de 33°). Le satellite emportait plusieurs compteurs de Geiger ou à scintillations, les uns sans protection, les autres possédant une ouverture recevant les radiations d'une orientation déterminée, soit directement, soit à travers une lame de plomb, pour éliminer les particules de faible énergie.

Les observations montrèrent que l'intensité des radiations commence à croître vers 400 km, puis monte plus fortement vers 800 km; entre 1 000 et 2 000 km, elle double tous les 100 km, de sorte que vers 2 000 km, le flux est au moins 1 000 fois plus intense qu'on ne l'avait imaginé.

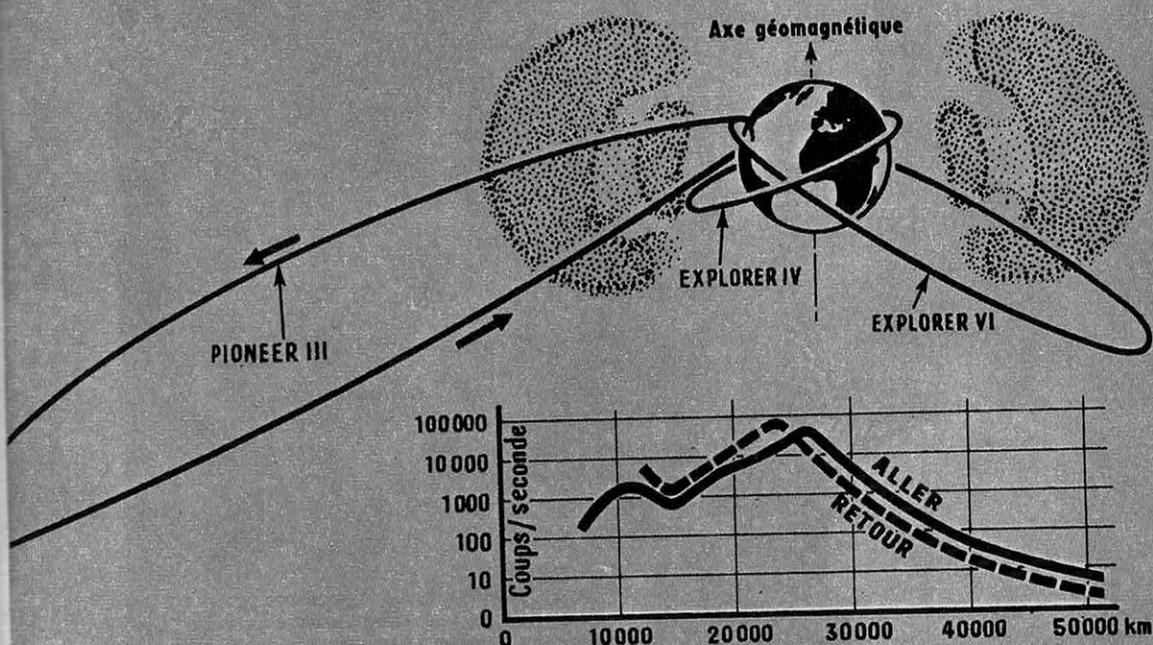
Les Soviétiques ont obtenu des conclusions analogues avec le Spoutnik III.

On ne pouvait pas encore parler d'une ceinture de radiations, puisque l'intensité observée croissait jusqu'aux altitudes explorées. Arrive-t-on à un maximum? Que se passe-t-il dans l'espace interplanétaire? Pour répondre à ces questions, un sondage plus lointain devenait nécessaire.

Ce fut la mission confiée par les américains à leurs « Pioneers », qui firent partie de leurs opérations de « tir à la Lune », sans aucune

Les ceintures de radiations

Le schéma ci-contre, coupe par un plan passant par la ligne des pôles magnétiques, donne les lignes d'égale intensité de ces radiations, évaluée en coups par seconde, en fonction des distances mesurées en rayons terrestres. Le schéma ci-dessous représente les orbites des Explorer IV et VI, principaux satellites qui ont permis la découverte et l'étude pendant plusieurs mois des ceintures indiquées en zones ombrées. On a dessiné aussi la trajectoire de Pioneer III, fusée lunaire qui est retombée sur la Terre sans avoir dépassé 102 000 km d'altitude. Les courbes du bas sont la traduction graphique des variations du taux de comptage des coups enregistrés par les instruments de Pioneer III au cours de son voyage aller et retour.



chance d'ailleurs d'atteindre notre satellite. Le premier monta jusqu'à 114 000 km, mais ses appareils fonctionnèrent mal. Le succès fut complet avec Pioneer III, qui s'éleva à 102 000 km et dont les mesures furent retransmises partiquement tout au long du trajet, puis avec Pioneer IV. Le rayonnement passe par un maximum d'intensité vers 3 000 km de la Terre, puis diminue; mais il recommence à croître vers 15 000 km et présente un deuxième maximum vers 25 000 km. Une coupe de ces deux ceintures de radiations par un plan diamétral donne une figure en croissant, dont les pointes touchent sensiblement les régions polaires. La ceinture extérieure est celle qui contient les particules de plus faible énergie.

Il s'agit vraisemblablement, dans les deux ceintures, d'un mélange : un « plasma » d'élec-

trons et de protons. L'idée la plus naturelle est qu'ils proviennent du Soleil. Les mesures ont précisément décelé des variations par bouffées, qui font penser à des jets émanant du Soleil, aux moments d'activité. Comme ces particules électrisées possèdent peu d'énergie, elles sont captées par le champ magnétique terrestre, qui est faible, mais qui exerce son action sur des milliers de km. Ce champ joue le rôle d'un piège, qui oblige ces charges à des parcours hélicoïdaux compliqués autour des lignes de force du champ, sans qu'elles puissent descendre profondément dans l'atmosphère terrestre, ni s'échapper dans l'espace. Ainsi la Terre serait, en quelque sorte, plongée dans l'atmosphère du Soleil et les relations entre les deux astres seraient beaucoup plus importantes qu'on ne l'avait imaginé jusqu'ici.

La mission photo de Lunik III

(Bureau soviétique d'informations)



Le croquis ci-contre permet de comprendre comment Lunik III, étant orienté sur l'axe Soleil-Lune au moment où ses caméras ont été déclenchées, a pu photographier une partie de la Lune pour nous déjà connue. Sur la photo du haut, le grand cercle en trait plein indique l'équateur lunaire, tandis que le grand cercle en pointillé délimite la zone jusqu'ici connue de la Lune de celle qui vient de nous être révélée par la photo prise par Lunik III et transmise au moyen d'un procédé voisin de celui du bélinographe.

Une sensationnelle expérience, l'« opération Argus », réalisée par les Américains en 1958, apporte quelques confirmations sur ces mécanismes. Son but était d'agir directement sur ces ceintures de radiations, par un apport massif de particules, créées au moyen de bombes atomiques. On fit exploser trois petites bombes, à 480 km d'altitude, les 27, 30 août et 6 septembre 1958, dans l'Atlantique Sud, au large des côtes de l'Amérique, à 3 000 km à l'est de Bahia Blanca. Ces bombes lancèrent dans l'atmosphère des flots d'électrons très rapides. Ceux-ci firent apparaître une aurore polaire — la première aurore artificielle — qui fut observée dans la région des explosions. Mais la majorité d'entre eux furent captés par

le champ magnétique terrestre, qui les fit retomber après un immense périple, vers le nord de l'Océan Atlantique; ils y excitèrent une deuxième aurore, qui illumina le ciel, le 4 septembre, jusque dans nos régions. On observa simultanément une forte perturbation des télécommunications, due au bouleversement des couches ionosphériques.

Des discussions ont surgi sur l'origine des deux ceintures de radiations. Il serait possible qu'elle fasse intervenir d'autres actions. On a pensé notamment à celle des rayons cosmiques : par chocs contre les atomes de la très haute atmosphère, ils créeraient des neutrons, qui sont comme on sait des particules instables, se désintégrant en donnant des

particules chargées, électrons et protons. Peut-être les corpuscules d'origine solaire sont-ils prédominants dans la ceinture externe, tandis que, dans la ceinture la plus proche, interviendrait surtout la formation à partir des neutrons.

La découverte des ceintures de radiations est d'une grande importance pour la physique théorique et aussi pour toutes ses conséquences sur les théories des divers phénomènes de la haute atmosphère : rayons cosmiques, champ magnétique, orages magnétiques, aurores polaires, lumières du ciel nocturne, relations entre les phénomènes solaires et terrestres, etc. Il faudra, d'autre part, en tenir compte dans la préparation des futurs voyages interplanétaires. En employant l'unité des biologistes, l'intensité du rayonnement atteint 10 à 200 röntgens par heure, l'incertitude provenant de la proportion encore mal connue des protons aux électrons. On admet qu'un être humain exposé pendant deux jours à 10 röntgens n'a pratiquement pas de chance de survivre. On devra donc ou traverser rapidement les zones, ou les éviter en passant au-dessus des pôles, où les dangereuses radiations n'existent pas ou bien prévoir une protection métallique, qui accroîtra le poids de l'astronef.

La forme de la Terre

Si la Terre était sphérique, homogène et sans atmosphère, les trajectoires des satellites seraient toujours des ellipses, dont le centre de la Terre occuperait un des foyers (à condition cependant de négliger les faibles perturbations dues au Soleil et aux autres astres du système solaire). Ces ellipses garderaient une orientation fixe dans l'espace et paraîtraient se déplacer pour un observateur terrestre uniquement à cause de la rotation de la Terre sur elle-même. Le freinage par l'atmosphère et l'aplatissement de la Terre au voisinage des pôles modifient ces orbites; les deux influences sont d'ailleurs assez faciles à séparer l'une de l'autre. La forme ellipsoïdale de notre globe produit un effet de précession, c'est-à-dire qu'au lieu de garder une orientation fixe dans l'espace, le plan de l'orbite tourne lentement autour de l'axe de la Terre. (Ce mouvement ne doit pas être confondu avec le déplacement apparent, signalé ci-dessus, dû à la rotation de la Terre). Quant à la distribution non uniforme de la masse de la Terre, elle donne, pour le champ de gravitation, une expression compliquée, dont les coefficients sont déterminés par la forme et la distribution massique de la Terre. Jusqu'ici c'est l'analyse du mouvement de la Lune au-

tour de la Terre qui avait permis d'aborder ces problèmes; mais les évaluations étaient difficiles ou même impossibles, car la Lune est à une trop grande distance de la Terre; le champ de pesanteur terrestre y est faible et se trouve perturbé par l'action du Soleil et des autres planètes. Les conditions sont beaucoup plus favorables avec les satellites artificiels, surtout ceux qui restent à une altitude suffisante pour que le freinage par l'atmosphère demeure négligeable.

Repérage au millième de seconde

Le premier travail est de repérer aussi exactement que possible les satellites lors de leurs passages. Diverses méthodes ont été employées. Si le satellite émet une onde continue, de fréquence fixe connue, on peut mesurer simplement la variation en fonction du temps de la fréquence reçue au sol; elle diffère, en effet, de la fréquence émise selon la valeur de la vitesse radiale du mobile par rapport à l'observateur. On déduit aisément ainsi à quelle distance minimum le projectile est passé et sa vitesse. On utilise souvent une technique interférométrique; comme son nom l'indique, elle met en œuvre l'interférence des signaux reçus par deux antennes; elle permet de déterminer la direction du satellite. Enfin les observations optiques ont joué un rôle important, car elles ont une grande précision. Les Américains ont utilisé des chambres photographiques spéciales, analogues à celles dont ils se servent pour l'étude des météorites; elles ont une ouverture de 50 cm et une distance focale de 50 cm également et sont faciles à orienter rapidement dans n'importe quelle direction. Un secteur tournant placé devant l'objectif interrompt la lumière à intervalles réguliers. On arrive à apprécier le temps au millième de seconde près, ce qui correspond, pour un engin se déplaçant à la vitesse de 8 km par seconde, à une localisation à 8 m près.

Un véritable réseau de stations était organisé pour le repérage des satellites. Ainsi pour leurs satellites Vanguard, les américains disposaient de 11 stations d'écoute, toutes reliées par radio à Washington; là, leurs informations étaient digérées par une calculatrice électronique, qui pouvait déterminer les positions des satellites minute par minute et suivre, à chaque révolution, les déformations de l'orbite.

L'analyse des orbites des satellites artificiels spécialement de Vanguard I, a conduit à une meilleure estimation de la forme et des dimensions de notre globe.

On sait désormais que l'aplatissement de

la Terre n'est pas égal à $1/297$, comme on l'admettait généralement, mais à $1/298,37$; on pense que le dernier chiffre est sûr. Il est rare de voir une détermination améliorée d'un coup d'une manière aussi nette.

En ce qui concerne les dimensions de la Terre, la valeur adoptée comme la plus probable pour le rayon équatorial était $6\,378,388$ km, tandis que les nouvelles déterminations donnent $6\,378,23$ km, en bon accord avec la valeur obtenue en 1942 par les géodésiens soviétiques, $6\,378,245$ km.

D'autre part, on a mis en évidence une irrégularité de la forme générale de la Terre. On croyait jusqu'ici que, malgré les accidents topographiques locaux, cette forme était très sensiblement celle d'un ellipsoïde de révolution. Il apparaît que, par rapport à cet ellipsoïde, la région du pôle nord forme une légère pointe, tandis que la zone polaire australe est trop basse. Pour exprimer les choses d'une manière imagée, on a dit que la Terre a la forme d'une poire. En fait, les écarts sont très faibles : le pôle nord est à 15 mètres au-dessus du niveau théorique et le pôle sud à 15 m au-dessous. Néanmoins, cette déformation doit traduire une certaine rigidité des couches internes de la Terre.

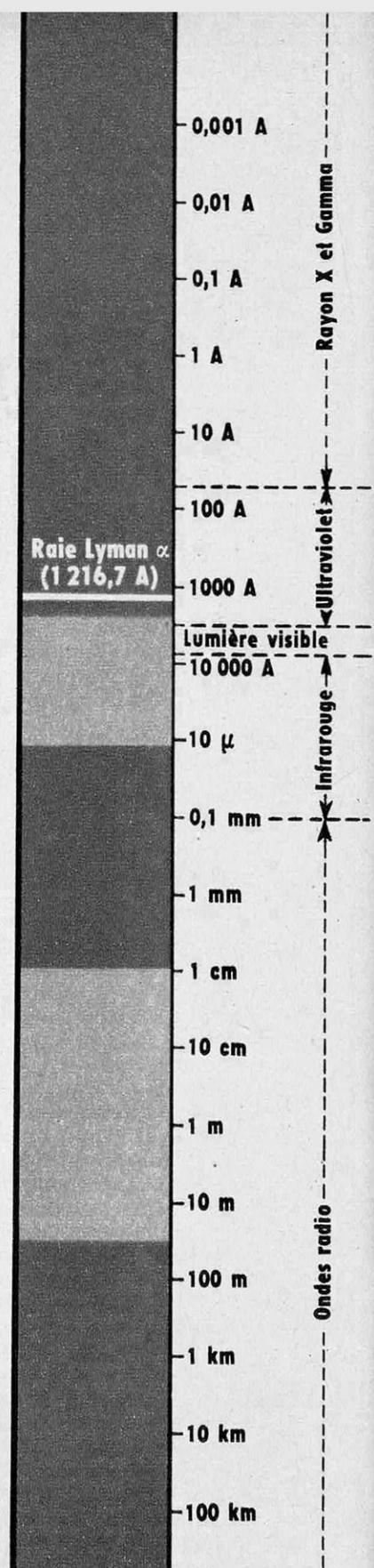
Un autre résultat, inattendu, a été obtenu par observation des satellites artificiels. Les positions d'au moins trois îles du Pacifique, dans lesquelles les Américains transportèrent des postes d'écoute, ont été déterminées à 20 m près, ce qui représente en géodésie un progrès révolutionnaire, car, si les cartes intérieures des différents pays du globe ont été établies avec soin, par contre les erreurs pour les distances entre continents dépassaient souvent le kilomètre.

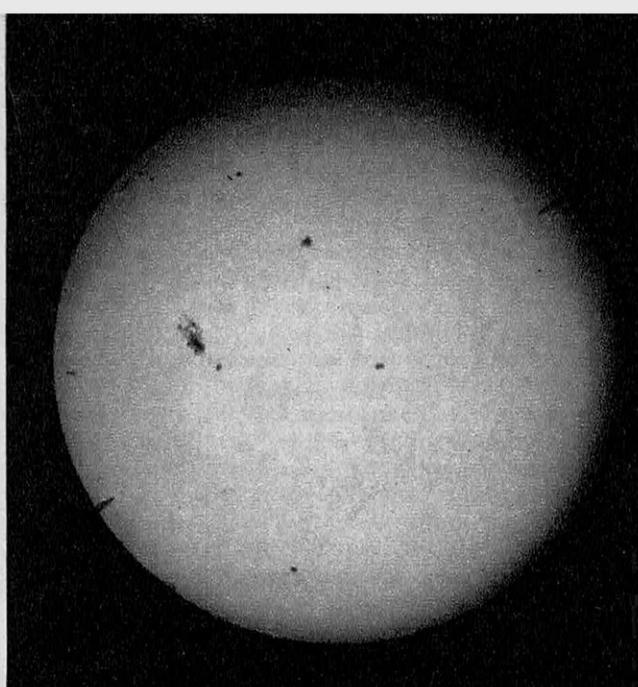
Les météorites

La Terre est bombardée continuellement par un nombre prodigieux de corpuscules, en pierres ou en métal, les météorites, qui se précipitent sur elle avec une vitesse comprise entre 20 et 70 kilomètres par seconde. Lorsque ces blocs sont assez gros, ils arrivent jusqu'au sol. Le plus souvent, ils sont très petits et disparaissent, par évaporation, dans les hautes couches de l'atmosphère où leur passage produit une lueur plus ou moins vive, désignée dans le langage courant sous le nom d'étoiles filantes. Pourtant les plus petits d'entre eux, ceux dont le diamètre est de l'ordre du millième de millimètre, ont un sort différent, on l'a reconnu récemment : ils perdent leur énergie très vite, avant d'avoir été évaporés, puis tombent très lentement vers le sol, sous forme de fines poussières; leurs propriétés particulières et leur composition (forte teneur en nickel) les distinguent des poussières d'origine terrestre.

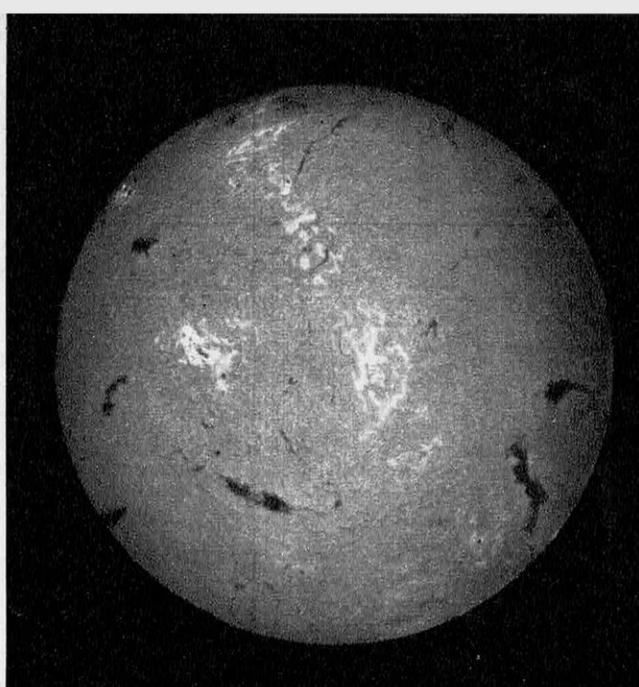
A cause de leur grande vitesse, les météorites dont la masse est supérieure au centigramme seraient de dangereux projectiles s'ils n'étaient pas freinés par notre atmosphère. En astronautique, cette protection n'existe plus; le problème des météorites présente donc une grande importance pratique, en plus de son intérêt scientifique pur.

Les engins spatiaux, russes ou américains ont été dotés de détecteurs de météorites : simples grilles, formées de fils métalliques très fins que l'arrivée d'une météorite pou-

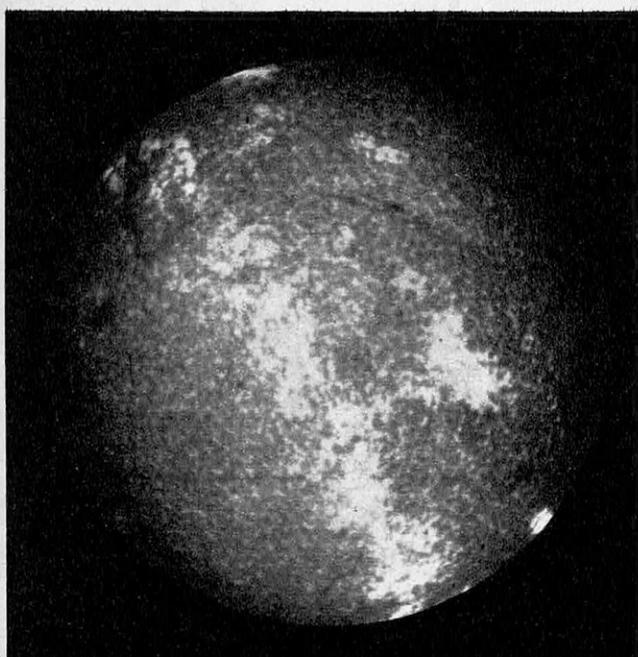




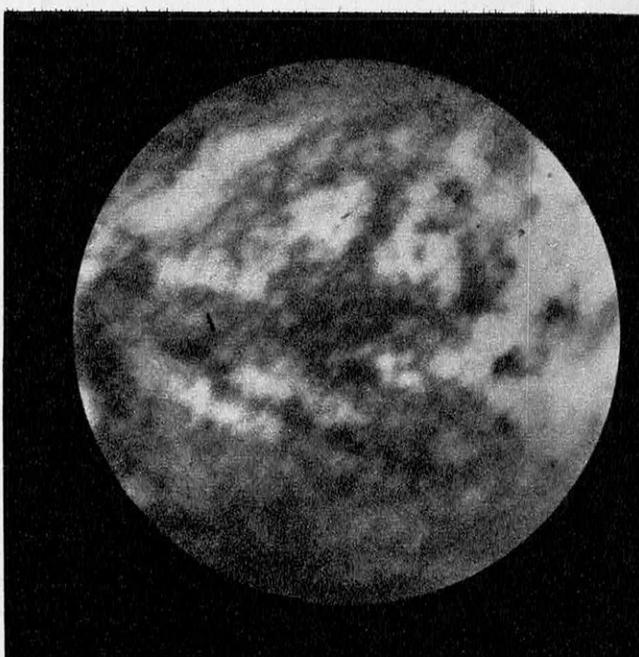
Photographie ordinaire : lumière blanche.



Photographie en raie H α de l'hydrogène.



Photographie en raie K du calcium ionisé.



Photographie en raie Lyman alpha.

Le Soleil vu hors de l'atmosphère terrestre

○ Na représenté verticalement ci-contre l'ensemble des rayonnements électromagnétiques et les deux étroites fenêtres qui limitent ceux qui parviennent au sol terrestre : la lumière visible, bordée d'infrarouge et d'ultraviolet, et les ondes radio entre 1 cm et 60 m environ. Les nouvelles méthodes d'observation par fusées pour hautes altitudes et

par satellites permettent en particulier l'étude intégrale du rayonnement solaire. On voit ci-dessus, à côté de photographies du disque solaire prises en lumière blanche, rouge (raie H α) et ultraviolette (raie K du calcium), une vue en raie Lyman alpha prise par une fusée ionosphérique lancée en mars 1959 par le Naval Research Laboratory des Etats-Unis.

vait casser; microphone transmettant le bruit de l'impact contre la paroi; paroi externe conductrice, dont on étudie l'usure; appareillage plus complexe permettant de mesurer à la fois le nombre de particules et leur énergie.

Les observations ont montré que, dans l'ensemble, le flux des météorites est un peu moins intense qu'on ne l'avait admis. Elles ont, d'autre part, confirmé la très rapide décroissance du nombre des météorites quand la masse croit, de sorte que les météorites dangereuses sont vraiment exceptionnelles. Pour Spoutnik III, on a compté, en moyenne, 3 ou 4 particules d'un millionième de gramme par 24 h. Ce nombre se trouve fortement accru, par exemple 1 000 fois plus grand, dans le cas de la rencontre d'un essaim. Même alors, au total, le danger des météorites pour les astronautes est faible.

D'après les Russes, les météorites relativement grosses, celles dont la masse est de l'ordre du gramme, ne sont pas compactes; elles ressemblent plutôt à des flocons, formés par agglomération de poussière météorique.

La face cachée de la Lune

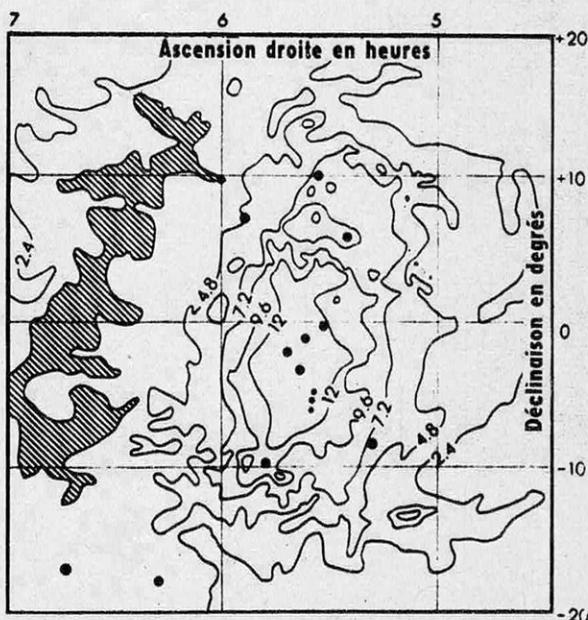
La Lune tourne autour de la Terre et en même temps sur elle-même de telle manière qu'elle dirige vers nous toujours la même face. Cependant certains détails voisins de la face exposée sont tantôt visibles, tantôt invisibles. Une au moins des causes auxquelles est dû ce changement du contour apparent est très facile à comprendre: l'axe de rotation de la Lune n'est pas perpendiculaire au plan de l'orbite, de sorte que la Lune présente alternativement ses deux pôles vers la Terre. Au total, nous pouvons observer 59 % environ de la surface de la Lune.

Le remarquable exploit des soviétiques est d'avoir réussi à photographier la face inconnue, grâce à leur fusée Lunik III.

Les photographies ont été prises, non pas lorsque l'engin passait au plus près de la Lune, mais plus tard sensiblement lorsque l'engin, la Lune et le Soleil se trouvaient alignés. A ce moment, la distance à la Lune était de 60 à 70 000 km. Ces conditions ont été choisies pour faciliter l'orientation de l'engin. Un «œil» électronique commandant le système d'orientation a dirigé l'axe de l'engin vers le Soleil, les appareils photographiques se trouvant alors braqués dans la direction opposée, c'est à dire vers la Lune. Le diaphragme vers le Soleil s'étant alors fermé automatiquement, un dispositif analogue a amélioré le centrage de l'image de la Lune dans les appareils photographiques et ce réglage a

déclenché les obturateurs. Le système d'orientation a assuré le pointage automatique continu vers la Lune pendant toute la durée des prises de vue, 40 minutes environ. Les photographies ont été prises sur un film de 35 mm, au moyen de deux chambres, de 200 et 300 mm de distances focales. Après développement automatique, les images de la pellicule ont été converties en signaux électriques; enfin les images ont été transmises à la Terre suivant les techniques de la télévision. Encore un merveilleux record: la transmission s'est faite lorsque la distance était de 470 000 km. D'après le rapport soviétique officiel, le nombre de lignes suivant lesquelles l'image était décomposée a été de 1 000, lorsque les conditions étaient favorables.

Toutes les photographies correspondent sensiblement à la même phase: la Lune présentant à la fusée un disque à peu près complètement éclairé (« pleine Lune»). On aperçoit sur les photographies une région qui est normalement visible, donc bien connue (Mer de Humboldt, Mer des Crises, Mer Régionale, Mer de Smith, une partie de la Mer Australe, etc.), qui représente environ 30 % de la surface de la Lune. Remarquons tout de



Deux régions du ciel d'in

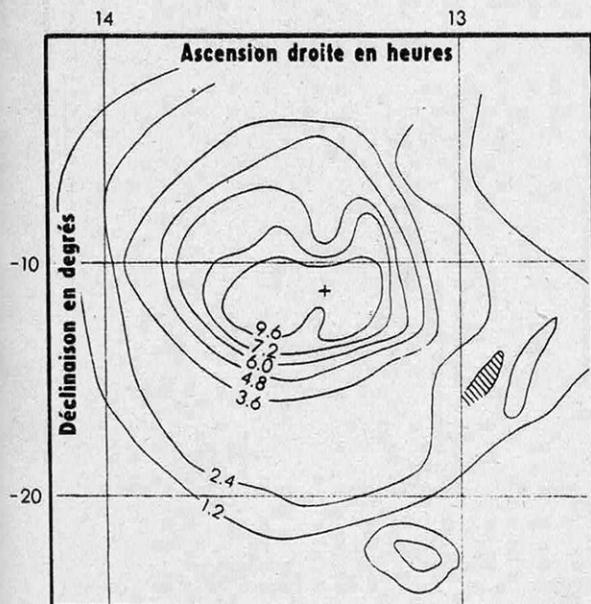
C'est, à gauche, la région des nébulosités de la constellation d'Orion et, à droite, celle de l'étoile alpha de la Vierge, appelée Spica. De telles émissions dans le proche ultraviolet (raie Lyman alpha) ont été mises en évidence

suite qu'il reste au moins 20 %, de la surface qui n'a pas encore été explorée.

Les commentaires sur les photographies soviétiques ont déjà été nombreux. Il faut noter que l'éclairage de face, sans aucune ombre, est très défavorable; il tend à effacer les détails; ceux-ci ne peuvent se distinguer que par leur différence de brillance. Puisqu'on distingue sur ces photographies une région déjà connue, dont on reconnaît les caractères principaux, on a une preuve que la qualité des images n'est pas discutable. Mais des cratères, mêmes très larges, ont pu ne pas apparaître à cause de l'éclairage. On est frappé par le petit nombre de plages sombres ou « mers », semblables à celles de la partie visible.

Les observations astronomiques

Outre la photographie de la face cachée de la Lune, d'autres progrès relatifs à l'astronomie ont été déjà réalisés au moyen des fusées ou des satellites. Déjà, depuis relativement peu de temps, des émulsions perfectionnées permettent de prendre des photographies en couleur des étoiles, comme on l'a fait au Mont Palomar avec des films Ansco.



Les observations faites à haute altitude présentent l'énorme avantage de percevoir les radiations qui sont absorbées par notre atmosphère, en premier lieu les radiations ultraviolettes de longueur d'onde inférieure à 0,3 micron.

Le premier succès a été la photographie du spectre solaire dans ce domaine des courtes longueurs d'onde, obtenue au moyen de spectrographes emportés par des fusées. Jusque vers 0,155 micron le spectre est continu, sillonné de nombreuses raies d'absorption, comme dans la région visible ou dans l'infrarouge. Au-delà, le spectre continu disparaît et l'on trouve des raies d'émission. Une des plus intenses est la raie Lyman alpha de l'hydrogène (longueur d'onde : 0,1216 micron); on pense que c'est celle dont l'action est prépondérante dans la formation des couches électrisées de l'ionosphère, par photoionisation des molécules ou des atomes. On a réussi récemment à obtenir une image entière du disque solaire en lumière de Lyman alpha, comparable à celles que donnent la raie rouge H de l'hydrogène ou la raie K du calcium et qui sont régulièrement étudiées dans les observatoires depuis des années. La comparaison des images obtenues le même jour avec Ly et H montre, que les régions les plus claires, c'est-à-dire celles émettant ces radiations avec le plus d'intensité, sont les mêmes. Il y a exacte correspondance, mais les plages brillantes sont plus larges avec Lyman alpha, de plus l'émission de cette raie est très faible dans les régions où les taches sont rares.

Au moyen de photocompteurs, on a constaté aussi que la radiation Lyman alpha est émise avec une intensité notable par des régions étendues du ciel. L'une d'elles coïncide avec les nébulosités entourant les étoiles chaudes de la constellation d'Orion. Une autre, aussi large que celle d'Orion, apparaît autour de l'étoile chaude Spica (alpha de la Vierge), alors que les photographies en lumière ordinaire ne montrent aucune nébulosité dans cette région. Cette observation n'a pas encore reçu d'explication.

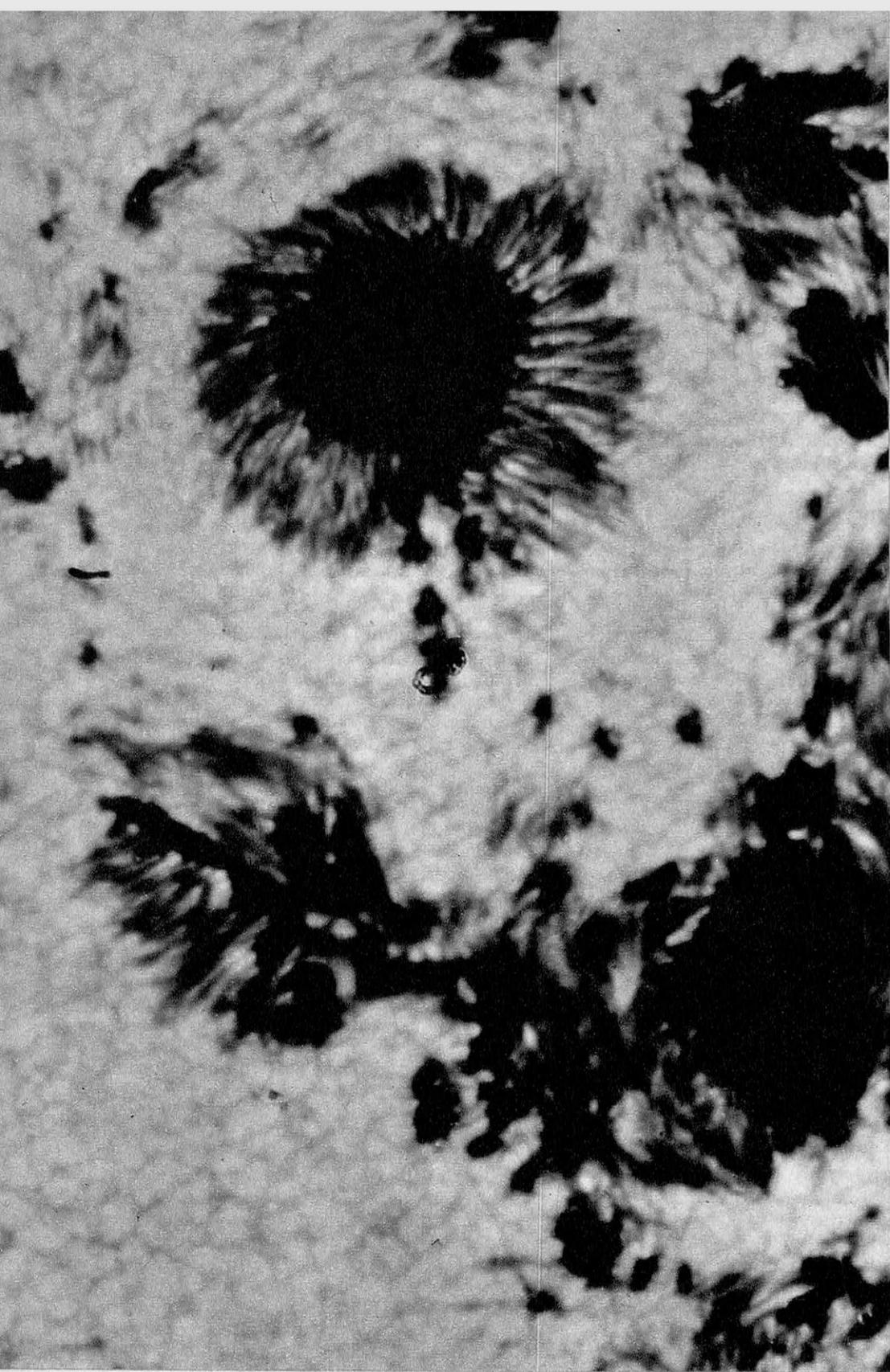
Les engins spatiaux sont appelés à jouer un rôle capital dans le développement de la radioastronomie, science encore dans l'enfance. Seuls ils pourront donner aux savants une vue d'ensemble du spectre électromagnétique de l'univers, dont la plus grande partie est inaccessible aux observateurs terrestres et dont la connaissance totale est pourtant indispensable pour déterminer l'origine, l'évolution et la destinée de notre monde.

J. GAUZIT

Astronome à l'Observatoire de Lyon

tense émission ultraviolette

en divers points du ciel par des fusées Aerobee. Elles sont parfois assez intenses pour noyer complètement celle des étoiles apparaissant les plus brillantes en lumière visible, qui ont été indiquées ici par des points ou des croix.

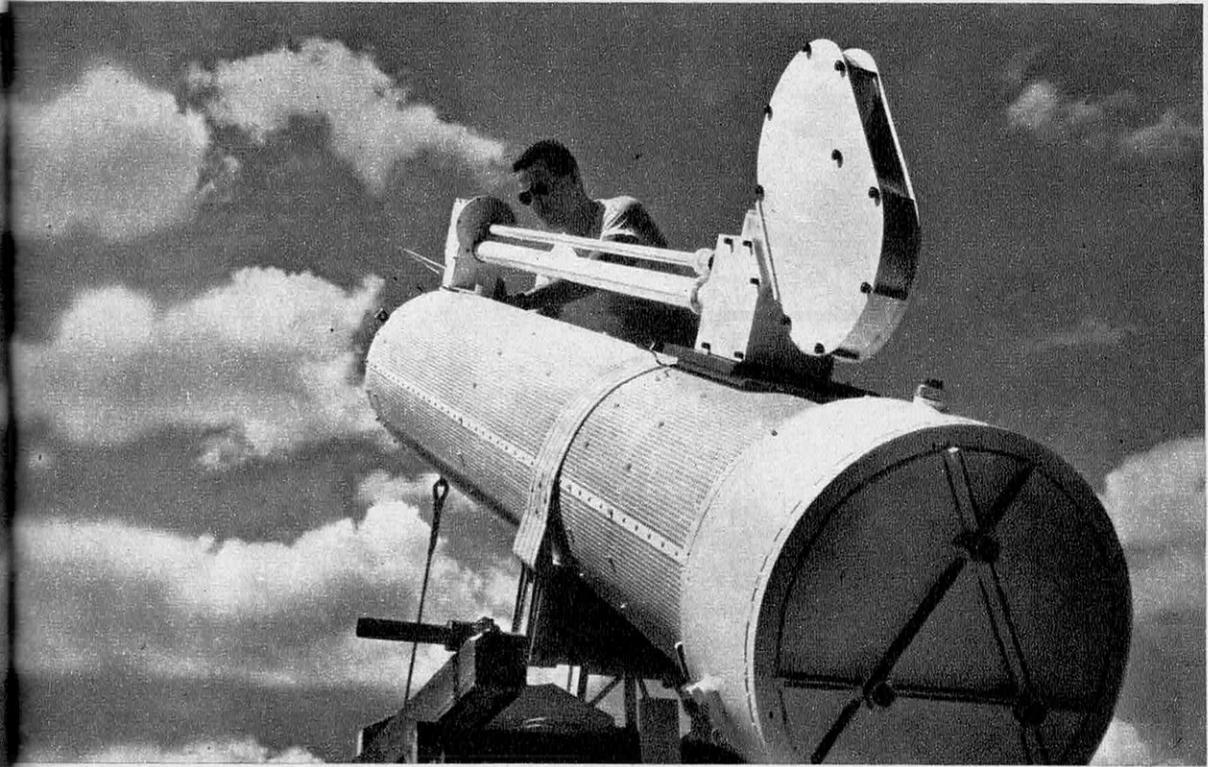


Taches solaires : cliché pris en ballon à 25 000 m par ce télescope, prototype de celui, qui d'un satellite, télévisera les images à la Terre.

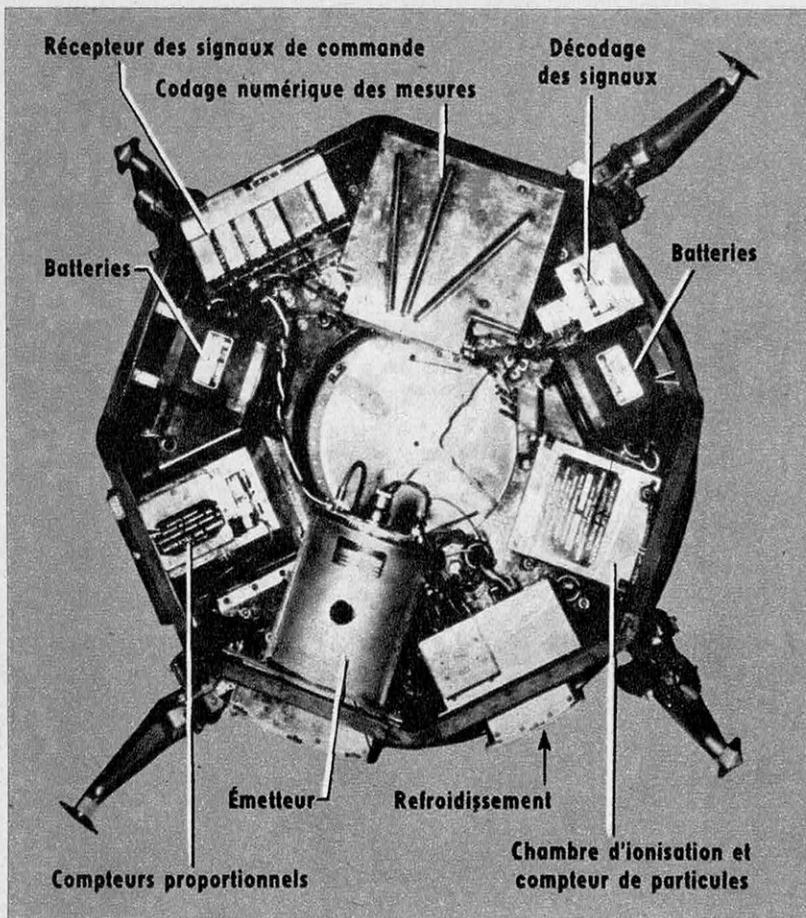
(Perkin-Elmer)

Applications des satellites :

LABORATOIRES DE L'ESPACE

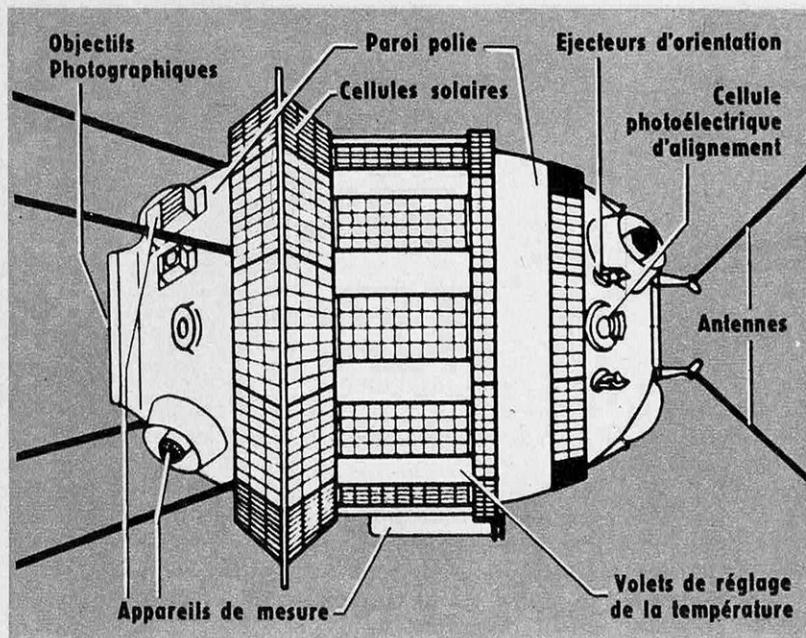


IL est maintenant pratiquement certain que l'immense station de l'espace telle que la décrivent les romans de science fiction, cette station où des centaines de savants en blouses blanches mettent au point des inventions merveilleuses, ne verra jamais le jour. A vrai dire, personne sauf W. Wernher von Braun, écrivain de science-fiction autant que savant, n'avait pris l'idée au sérieux. On ne voit pas bien comment la roue gigantesque qu'il imaginait pourrait être construite, ni ravitaillée. En revanche, dans le domaine du réalisable, la station automatique interplanétaire russe MAS (connue sous le nom populaire de Lunik III) nous offre le prototype du véritable satellite expérimental de l'avenir: satellite spécialisé prévu pour accomplir une seule tâche scien-



Pioneer V

Ce satellite américain qui ne put être mis sur orbite avait pour mission de transmettre des photos de la Lune autour de laquelle il devait tourner. Il était aussi équipé pour faire des mesures de températures, de radiations, de champ magnétique, pour étudier les nuages de plasma et les météorites. Il emportait en outre un récepteur spécial sur 15 kc pour capter les émissions de l'espace. Le fonctionnement de ses émetteurs et la recharge de ses batteries étaient assurés par 8 800 cellules solaires portées par quatre pales repliées au départ de la fusée et qui se déplaient une fois le carénage éjecté. Cet ensemble avait beaucoup d'analogie avec celui du satellite Explorer VI.



Lunik III

Contrairement à Spoutnik III qui était bourré d'instruments scientifiques pour les mesures les plus variées, Lunik III, dont on voit ci-contre l'aménagement externe, avait la mission plus particulière de photographier la face invisible de la Lune. Dans ce but il emportait deux caméras de 200 mm et 500 mm de distance focale, un système de bains de développement et un appareillage, genre bélinographe, pour retransmettre les photos aux stations terrestres. Il émettait sur les fréquences de 183,6 Mc, 39,986 Mc et 2 500 Mc.

tifique et s'en acquittant bien. Par centaines, de tels satellites seront bientôt placés sur leurs orbites. Au congrès de Nice, le général russe Anatol Blagonravov a proposé d'en lancer au moyen de fusées russes pour le compte des pays qui ne disposent pas de fusées, notamment la France. Certaines sociétés industrielles importantes, en Amérique et en Europe, envisagent déjà d'envoyer dans l'espace des satellites expérimentaux pour leur propre compte...

On peut donc, sans verser dans l'imaginaire ni extrapoler, préciser d'ores et déjà quelques traits du satellite expérimental standard.

Le futur satellite standard

Une sphère de 1 m de diamètre environ en alliage léger lancée par une fusée, semblable à celle qui a expédié dans le vide Spoutnik III. A l'intérieur, la pression atmosphérique est maintenue à 1 000 mm de mercure, ce qui n'est pas plus difficile que de maintenir la pression atmosphérique terrestre de 760 mm de mercure et permet, en outre, des calculs plus aisés. La température est maintenue, sauf dans certains cas particuliers, à 20°, température ambiante d'un laboratoire terrestre. Des jalousies mobiles, qui s'ouvrent automatiquement pour réfléchir l'excès de l'énergie solaire, et une circulation d'air entre des points chauds et des points froids maintiennent cette température.

Des piles solaires et une batterie nucléaire fournissent de l'énergie pour une durée pratiquement illimitée. Perfectionnement par rapport à Lunik III : une caméra de télévision spéciale, dont la photocathode n'est pas affectée par le bombardement cosmique, transmet sur Terre les images des expériences effectuées dans le laboratoire automatique de l'espace.

Sur une autre fréquence, des ordres d'effectuer telle ou telle expérience parviennent à la station automatique. Les résultats de ces expériences sont enregistrés sur bande magnétique, puis retransmis vers la Terre. La station a son propre signal d'identification et une orbite parfaitement définie autour de la Terre ou du système double Terre-Lune.

Peut-être un jour enverra-t-on de telles stations autour de Mars ou de Vénus.

Une spécialisation à outrance

A chaque station, son propre travail. Il n'est guère possible d'étudier la physiologie

des virus sous vide dans la même station où l'on procède à des expériences nucléaires dangereuses. Il n'est guère possible d'étudier la fusion des métaux, qui dégage des quantités énormes de radiations, dans la même station où l'on essaie de vérifier la relativité générale d'Einstein.

A chaque station son travail, et ce travail sera probablement réparti par une commission internationale dont la réunion de Nice au début de 1960 a posé les premiers jalons. Bien entendu, ceci n'empêchera pas des militaires ou des industriels de procéder à des expériences secrètes. Mais le gros du travail sera mis à la disposition du monde entier et l'on verra certainement dans l'équipement des stations spatiales les instruments de précision suisses voisiner avec la pile solaire russe et une batterie nucléaire américaine côtoyer un appareil scientifique suédois ou un téléviseur français.

Spécialisation à outrance : à tel point que certains des satellites n'auront pas d'atmosphère intérieure, d'autres seront en céramique et portés à une très haute température, d'autres seront simplement des ballons ou des boules creuses sans appareillage. L'une de ces boules creuses sera incessamment lancée par les Russes. Elle contiendra des albumines synthétiques, fabriquées selon la technique sous pression de C. B. Bressler à partir du charbon, de l'air et de l'eau. On imagine que, sous l'effet d'un bombardement cosmique, ces protéines pourraient devenir vivantes, et qu'on reproduirait ainsi la création de la vie sur la Terre; il faudrait, a-t-on même estimé, quelque 12 années pour cela, au bout desquelles une fusée pilotée pourra ramener ces petites boules précieuses sur Terre. On pense aussi lancer dans l'espace des boules creuses contenant du fer fondu ayant dissous du carbone. En se refroidissant lentement par rayonnement, à l'abri des chocs et loin de toute matière, ces boules pourront, d'après les savants russes, donner naissance à de gros diamants.

Il n'y en aura pas pour tout le monde

Même si l'Amérique et la Russie remettaient à une organisation internationale de l'espace leurs stocks de fusées, il n'y en aurait jamais assez pour satisfaire tous les savants qui désireraient se livrer à des essais. Aussi certains projets devraient-ils être abandonnés.

On n'utilisera jamais un satellite pour vérifier une idée curieuse émise par le regretté Emile Borel et selon laquelle les déci-



Pour vérifier la théorie de la relativité

Cette horloge atomique, dont on voit ci-contre le logement tubulaire et le générateur de faisceaux d'atomes de gaz amoniac, sera utilisée pour vérifier la célèbre théorie de la relativité d'Einstein. Ne variant pas de plus d'une seconde en mille ans, elle sera placée dans un satellite orbitant à 30 000 km/h autour de la Terre, et comparée à une pendule identique restant au sol. On pourra ainsi savoir si le temps s'écoule moins vite dans un véhicule mobile par rapport à la Terre que sur la Terre elle-même.

males du nombre π ne sont pas les mêmes dans les diverses régions de l'espace par suite de certaines irrégularités dans la structure universelle.

On ne consacrera jamais un satellite à l'étude des mœurs curieuses du crabe-horloge. Ce crustacé original, qui vit sur les rivages de l'Atlantique, change de couleurs à la tombée de la nuit, ce qui paraît dû à la diminution des rayons cosmiques la nuit lorsqu'on ne reçoit plus la composante solaire de ces rayons. Avec des accélérateurs de particules et un bombardement artificiel, on a pu faire changer de couleur un crabe-horloge la nuit, et il serait évidemment intéressant de savoir comment il se comporte dans l'espace. Mais cela ne vaut pas un satellite, surtout équipé avec la télévision en couleur. Il faudra choisir, et l'on prévoit déjà d'après querelles de

savants, car il y aura certainement beaucoup d'appelés, peu d'élus, et énormément de mécontents.

La Terre, planète prioritaire

Il est certain qu'il existe dans l'univers une planète dont l'étude aura la priorité pour toutes les applications des satellites scientifiques. Cette planète c'est notre vieille Terre. Toutes les études sur les recherches de minerais, de pétrole et d'eau à partir des satellites, toutes celles pouvant permettre la prévision du temps par photographie des nuages, toutes les applications aux télécommunications terrestres, bref tout ce qui est géophysique et physique du globe aura la priorité. Seront également prioritaires les satellites spécialisés qui s'attacheront à l'étude du Soleil. Certains

de ces satellites étudieront uniquement l'ultraviolet solaire, d'autres le spectre des rayons X, d'autres encore l'émission d'ondes hertziennes du Soleil, d'autres enfin l'ensemble de la surface de l'astre avec le coronographe et d'autres instruments.

La Terre se trouvant dans l'atmosphère du Soleil, il est indispensable de l'étudier pour mieux connaître ses répercussions possibles sur notre planète. Un récent ouvrage russe « Le Soleil et l'atmosphère de la Terre » par E. R. Moustel a fait le point sur ce sujet et esquissé un programme de recherches. Il comprendrait l'étude d'applications pratiques à la prévision du temps et à la prédiction des moments favorables pour les télécommunications par ondes hertziennes.

Si on décompose ce programme en termes de satellites spécialisés, il en faudrait une bonne trentaine. Et encore... Les physiciens français ont, semble-t-il, sur le Soleil des idées nouvelles qui exigeraient une douzaine de satellites de plus.

Satellites scientifiques et vie quotidienne

Certains problèmes industriels auront peut-être la priorité sur la recherche pure. On peut imaginer un satellite à bord duquel un robot peindra une surface; aussitôt sèche, cette surface serait examinée par de nombreux instruments et les résultats transmis par radio permettraient, ce qui n'a jamais pu être fait jusqu'ici, d'étudier l'adhésion des peintures à l'état pur. Dans d'autres satellites, des piles solaires transmettront leurs caractéristiques en fonction du temps. Dans d'autres encore, on essaiera d'accumuler l'énergie des rayons cosmiques dans des cristaux sensibilisés. Pratiquement chaque fédération des grandes industries aura son propre satellite où elle poursuivra des recherches.

Car on trouve dans l'espace aussi bien le vide absolu, une température s'approchant du zéro absolu, que des températures très élevées (obtenues en concentrant un miroir solaire sur un objet). On peut s'y placer en pleine ceinture de radiations sous bombardement intense, ou bien au contraire loin de toute source de perturbations.

Des recherches sur la soudure des plastiques par bombardement, sur la résistance des divers matériaux aux bombardements, sur la conversion des énergies, sur la structure microcristalline, vont être poursuivies au moyen de satellites spécialisés.

La science pure bien entendu ne sera pas oubliée. Des horloges extrêmement précises montées sur satellite permettront de vérifier

la théorie de la relativité généralisée. Des pièges à particules: chambres à bulles, colonnes géantes remplies d'un liquide fluorescent, cristaux artificiels, tenteront de détecter les particules les plus rares et les plus étranges.

Des télescopes optiques et des radiotélescopes montés sur satellites essaieront d'élargir encore les limites de l'univers ou de prouver qu'il est infini. Des sciences absolument nouvelles, l'étude des fluctuations du vide, par exemple, vont naître.

De la télécommande à la récupération

Tout l'appareillage scientifique nécessaire existe déjà et l'on pourrait en remplir demain 1 000 satellites. Il a été mis au point pour les besoins de l'industrie nucléaire. Les télémanipulateurs, l'appareillage de dosage chimique fonctionnant à distance et transmettant les résultats par télévision en couleur, les caméras fonctionnant dans un bain de radiations à haute température, tout cela peut être acheté dans le commerce. Les savants peuvent dire: « donnez-nous des satellites, nous nous chargerons du reste ».

La télécommande comme la télémesure sont choses merveilleuses. Mais il est préférable, dans bien des cas, de procéder à des investigations sur l'« objet » lui-même. Les instruments ne transmettent que les informations contenues dans leurs programmes. Ces changements de coloration imprévus qui attirèrent l'attention de Fleming et conduisirent à la découverte de la pénicilline n'auraient pu être transmis par télémesure.

Pour permettre les grandes découvertes qui naissent nécessairement des satellites de la science, il faut pouvoir travailler directement sur ces « objets ».

Cela ne paraît nullement impossible. Les échantillons scientifiques sont fréquemment peu encombrants et peu volumineux. Un gramme de virus de poliomyélite bombardé par les rayons cosmiques et affaibli par ce bombardement suffira peut-être pour extraire le sérum définitif. On peut donc imaginer des fusées spécialement équipées où l'on dépenserait quelques dizaines de kilogrammes de carburant pour ramener sur terre, sans encombrer, un échantillon que des robots auraient placé dans un récipient bien protégé contre toutes les variations de températures et contre les chocs. C'est la seule anticipation que nous nous soyons permise dans cette étude, et c'en est à peine une.

Jacques BERGIER

SCIENCE et VIE

- Aviation sans aérodromes
- Pour ou contre la vivisection
- Photo-couleur par tous les temps
- Leclerc ou supermarchés
- D'autres mondes nous parlent-ils?
- La vérité sur le détecteur de mensonges

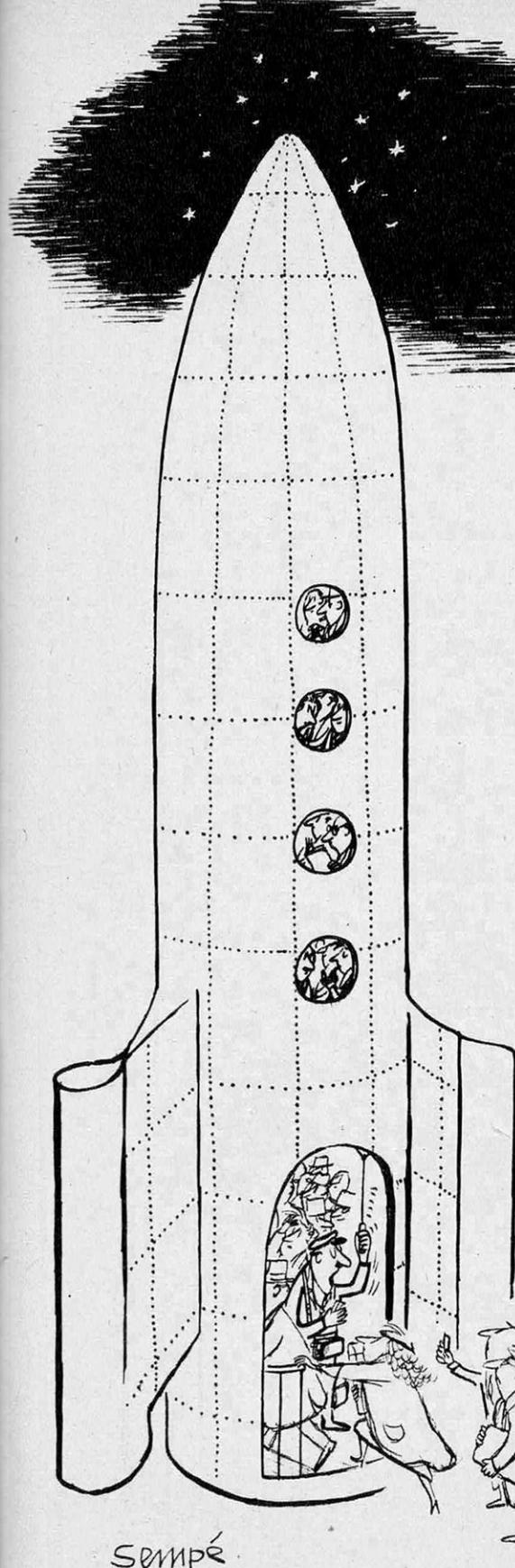


ANTARCTIQUE
des milliers d'hommes
de 11 nations
y vivent par - 50°
POURQUOI ?

250 « FRÉJUS » DANS LE MONDE ...
Notre enquête page 62

Paraît tous les mois

**De grandes enquêtes sur les
problèmes que pose le monde moderne
Des reportages exclusifs**

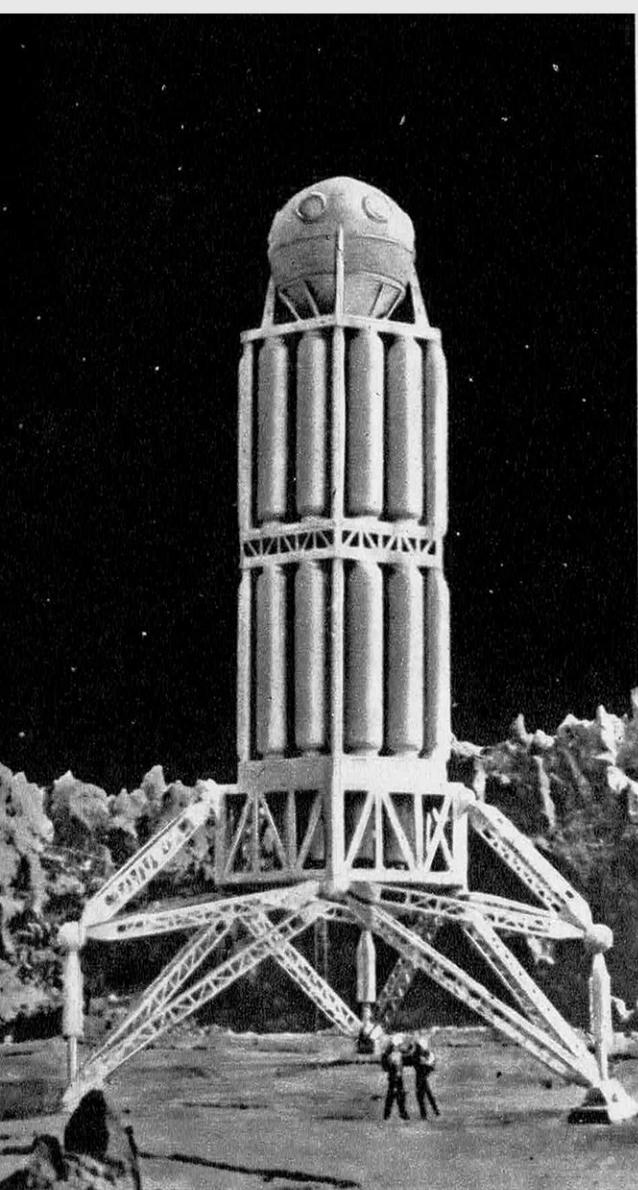


Colonisation de la LUNE

CET article sera peut-être lu avant l'année 2 000 par des habitants de la Lune. Non pas les Sélénites imaginaires de Wells, mais des hommes et des femmes qui séjourneront dans la Lune d'une façon aussi naturelle que les explorateurs de notre époque vivent au Pôle Sud avec tout le confort, vont au cinéma et se font des visites.

A ces habitants de la Lune, cet article pourra paraître assez naïf, car la colonisation de la Lune se sera sans doute effectuée, dans la deuxième moitié de

Sempé



← **LA CONQUÊTE DE L'ESPACE** vue par les Russes dans leur film « La route des étoiles ». L'engin spatial des astronautes vient de prendre contact avec le sol lunaire. Les personnages donnent l'échelle.

réalisées dans les laboratoires russes d'astrobotanique le laissent espérer.

Même si l'on n'arrive pas à des résultats aussi exceptionnels, il est certain que d'énormes récipients en plastique contenant de l'eau chargée de tous les éléments nécessaires à la vie végétale, et où pousseraient des plantes, seront probablement le cœur d'une base lunaire.

Ce cœur végétal, comme tout le reste de la base, serait protégé du vide lunaire par une coupole en résine de polyester renforcée par de la laine de verre. Une telle coupole se ressouderait immédiatement et automatiquement en cas de percée par une météorite.

Quelles seraient les plantes qui assureraient ainsi le cycle de vie de la base lunaire ?

Certainement des algues, produisant à la fois de l'oxygène et des protéines. Certainement également des plantes riches en vitamines et faciles à cultiver sans sol, la tomate ou l'arachide, par exemple. Peut-être également des fraisières, dont la culture sans sol en boîte plastique a été expérimentée avec succès. Probablement la canne à sucre. Enfin, certains arbres polynésiens, notamment l'arbre à pain, seront également plantés. S'il est possible de modifier suffisamment le sol lunaire par irrigation et par addition d'engrais, il n'y a aucune raison pour ne pas y planter des vignes. Nous boirons peut-être un jour une bonne cuvée Joliot-Curie produite dans le cratère lunaire du même nom...

ce siècle, à l'aide de techniques dont pour le moment nous ne pouvons avoir la moindre idée. Essayons cependant d'imaginer ce que pourra être cette colonie lunaire.

Botanique, science numéro 1

Si la chimie et la physique se seront montrées capables de transporter des hommes vivants dans la Lune, c'est la botanique qui en assurera la survie. Des plantes fabriqueront l'oxygène. D'autres plantes fourniront les aliments et les vitamines nécessaires à la santé de l'homme. Il n'est même peut-être pas impossible (Arthur Clarke le pense) que des plantes modifiées, des mutants du règne végétal, puissent pousser directement sur le sol lunaire, dans le vide. Des expériences

Le problème de l'eau

Si les plantes peuvent purifier indéfiniment l'air, le recyclage sans fin de l'eau ne paraît pas possible au stade actuel des techniques.

La colonie devra donc exploiter une source d'eau lunaire, c'est-à-dire un gisement de sels minéraux comprenant un grand nombre de molécules d'eau cristallisées. L'alun, qui contient 48 molécules d'eau de cristallisation, en est un bon exemple; on est allé jusqu'à suggérer qu'il pourrait constituer la future monnaie d'échange lunaire...

Sans aller jusque-là, on peut raisonnablement espérer, étant donné la faible densité de la Lune et l'existence sur notre satellite

de volcans éteints (ou peut-être actifs), que des sels contenant un grand nombre de molécules d'eau doivent y exister. Il est même possible qu'il se trouve, dans des cavernes lunaires, d'importants dépôts de glace.

Ce serait le plus grand trésor que les explorateurs pourraient y découvrir. Avec des ressources suffisantes en eau, la colonie lunaire pourrait vivre indéfiniment.

Le Soleil, source inépuisable d'énergie

Les expériences effectuées avec succès pendant 18 mois à bord de Spoutnik III ont montré que des batteries solaires placées sur la Lune produiraient jusqu'à 1/2 kilowatt par m² de batterie. C'est donc le Soleil qui alimenterait la colonie lunaire en énergie.

Cette énergie serait stockée sous forme d'hydrogène et d'oxygène, gazeux, absorbés sur des matières poreuses appropriées et qu'on recombinaient dans des piles à combustible du type Bacon ou Allis Chalmers pour produire de l'électricité durant les nuits lunaires. On rechargerait également quelques batteries portatives de zinc-argent, du type existant mis au point en France par Henri André à l'usage des explorateurs qui, en scaphandre d'espace ou à bord de véhicules spéciaux, s'aventureraient loin de la colonie.

L'alimentation en énergie ne paraît pas soulever de problème. C'est pourquoi la colonie lunaire n'aurait aucune difficulté pour maintenir des communications avec la planète-mère.

On a beaucoup discuté pour savoir si la base lunaire serait installée en surface ou dans une caverne. Il est probable que les deux solutions seront appliquées simultanément, c'est-à-dire installations de surface, mais au-dessus de grandes cavernes naturelles.

Il n'est nullement fantastique d'imaginer une population de quelques milliers de savants et de techniciens vivant dans une véritable ville lunaire. Une telle ville pourrait servir de plaque tournante pour les voyages interplanétaires. Il ne faut pas oublier que si l'on parvient à réaliser le rechargement en combustible d'une fusée sur la Lune, on augmente de 1 000 % les possibilités de voyages sur Mars et Vénus. La vitesse de libération étant 5 fois plus petite que sur Terre, on pourrait y lancer des fusées avec une catapulte électro-magnétique. L'énergie qui actionnerait cette catapulte de lancement serait simplement le courant électrique fourni par le Soleil.

Si donc un jour les voyages sur Mars et Vénus deviennent rentables, une ville lunaire de transit deviendrait vite payante.

La base lunaire contiendrait donc quelques milliers d'hommes et de femmes avec pour chacun des humains (ou des animaux, car les animaux expérimentaux seront nombreux) cinq fois environ son poids de matière végétale. Cet univers aurait besoin de recevoir périodiquement une certaine quantité d'eau du dehors, ainsi que de la viande en conserve. Moyennant quoi les colonisateurs de la Lune pourraient vivre quasi indéfiniment et même se reproduire. Au 21^e siècle, il y aura peut-être des êtres humains nés dans la Lune.

On a suggéré également que des cardiaques auraient intérêt à vivre dans la Lune pour économiser l'effort sur le muscle du cœur. La suggestion ne paraît pas déraisonnable.

Véhicules lunaires

On a proposé de nombreux véhicules lunaires, parmi lesquels l'électrobus accumulant l'énergie dans un volant et qui est déjà exploité commercialement en Suisse sous le nom de gyrobus. On a également envisagé une automobile sauteuse avec des fusées lui permettant de s'envoler par-dessus les crevasses...

Il est possible cependant que le meilleur véhicule pour l'exploration lunaire elle-même soit la fusée.

Plusieurs moteurs ioniques pour fusées ont été effectivement mis au point. Les Américains ont même annoncé officiellement le 12 janvier 1960 que le grand problème du moteur ionique, celui qui consiste à empêcher les ions d'adhérer à la fusée et d'en ralentir le mouvement, a été résolu.

C'est donc probablement à bord des fusées ioniques relativement lentes, ne faisant peut-être que du 100 km à l'heure, que les explorateurs parcourront le reste de la surface de notre satellite.

Une partie non moins importante de l'exploration de la Lune se poursuivra vraisemblablement sous sa surface. Déjà un séismographe lunaire a été mis au point à l'université de Cornell aux États-Unis. Ce séismographe permettra, en détectant des ondes émises par des explosions atomiques ou classiques, de repérer des cavernes.

Des turbo-foreuses pourraient percer à partir des cités lunaires des tunnels rejoignant ces cavernes. Leur exploration serait faite par des futurs Norbert Casteret, qui pourraient y trouver des minerais intéressants,

des structures géologiques nouvelles et peut-être — qui sait ? — des fossiles ou des traces de vie. Par la suite, un métro lunaire réunirait entre elles, à travers cavernes et tunnels, les diverses colonies de la Lune.

Il n'est d'ailleurs pas impossible que ce soit sous la surface de la Lune que seront faites les plus grandes découvertes. Ainsi que nous l'avons dit, la plus importante d'entre elles serait celle des grandes mines de glace. Si de telles mines existaient, la colonisation de la Lune pourrait se révéler plus simple qu'on ne croit.

La Lune, paradis scientifique

On peut se demander quelle serait l'utilité de cette colonie lunaire. Bien que démontrée dans de nombreux livres et articles, nous allons y revenir une fois de plus.

« Les astronomes qui ont bien mérité de Dieu, écrit plaisamment l'écrivain américain Robert Wood, vont dans la Lune après leur mort, et c'est là qu'ils trouvent leur véritable paradis. » La Lune serait, en effet, un lieu d'élection pour les astronomes. La faible pesanteur sur notre satellite permettrait la construction de télescopes géants et l'absence d'atmosphère assurerait une visibilité parfaite. Les fabricants d'accélérateurs de particules seraient également favorisés : la faible pesanteur lunaire rendrait possible la construction d'accélérateurs dont le vide serait entretenu sans pompe, en les mettant simplement en relation avec l'extérieur. Il en est de même pour les spécialistes

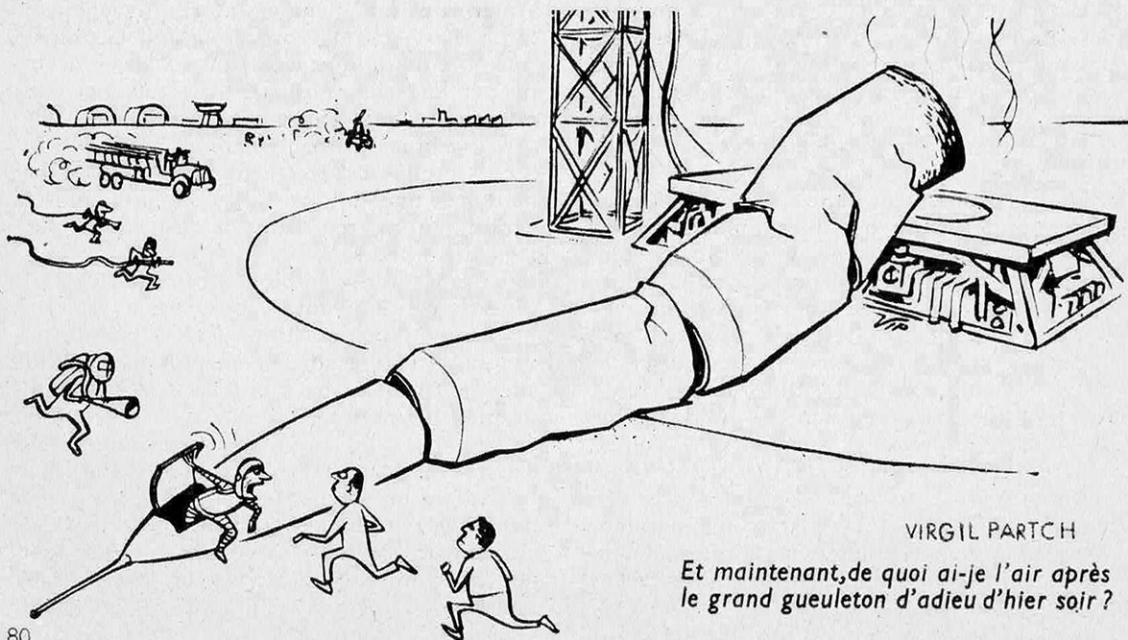
en rayons cosmiques : la Lune n'a pas de champ magnétique, et le rayonnement cosmique primaire y arrive sans déformation et peut y être analysé.

Le radio-astronome pourra y construire des télescopes qui ne seront pas perturbés par les parasites provenant de l'activité électronique terrestre. Le géologue y trouvera des couches et des structures nouvelles, et très probablement des minerais absolument inconnus. Certains astronomes comme Hoyle ou Kosirev, pensent même qu'il y aurait du pétrole : Kosirev pense avoir observé des gaz naturels, illuminés par le Soleil, dans un des cratères lunaires.

Si le pétrole lunaire existait, il fournirait certainement une source d'énergie intéressante pour la colonie. Son étude permettrait vraisemblablement d'améliorer les moyens de sa prospection sur Terre.

Mais il est bon de ne pas avoir d'idées préconçues au départ. Il pourrait se faire que les grandes découvertes lunaires concernent des phénomènes dont nous n'avons pas la moindre idée. On l'a souvent répété : lorsqu'il devint évident que l'Amérique était un nouveau continent, l'imagination humaine s'est donné libre cours. Elle a imaginé les sept cités de Cibola où les Dieux dansaient avec les hommes. Elle a imaginé l'Eldorado, la cité de l'Or. Mais personne n'a prévu la quinine, ni le caoutchouc, ni le tabac, ni la pomme de terre. De même, il est impossible de prévoir ce que la Lune nous apportera.

Jacques BERGIER



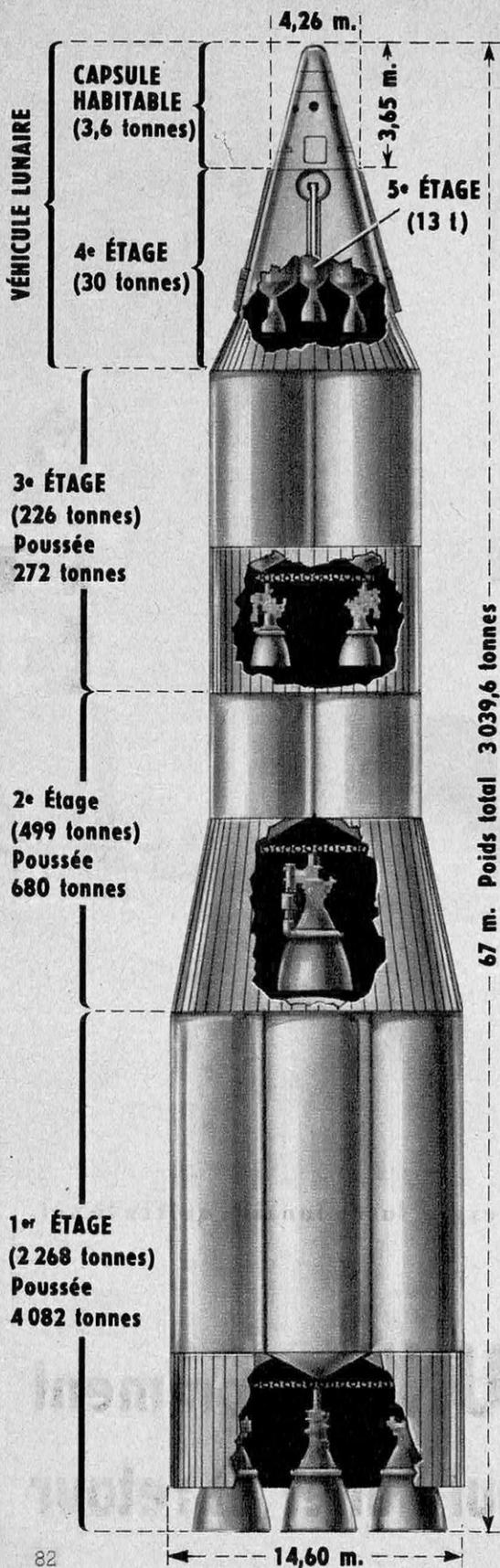
Et maintenant, de quoi ai-je l'air après le grand gueuleton d'hier soir ?



Dans le rugissement de ses six tuyères, la fusée lunaire quitte le sol.

**EXPEDITION LUNE : comment
se conçoit aujourd'hui l'aller et retour**





L'aller et retour sans

CE projet de voyage aller et retour Terre-Lune n'est nullement sorti d'un roman de science-fiction. Ce sont deux experts du NASA (National Aeronautics and Space Administration), aux USA, qui l'ont présenté au dernier congrès de Londres en juillet 1959. La solution préconisée par M. W. Rosen et F. C. Schwenk est celle d'un voyage direct Terre-Lune, le voyage retour étant lui aussi direct, la phase terminale comportant une rentrée dans l'atmosphère à vitesse hyperbolique.

Après avoir donné les raisons d'une telle expédition, entre autres le fait qu'aucun appareil, si perfectionné soit-il, n'est capable de remplacer un être humain, les auteurs du projet en admettent les risques. Mais toute expédition ne comporte-t-elle pas un risque en soi ? Les premiers explorateurs de notre planète, les pionniers de toutes sortes, n'ont-ils pas risqué et souvent payé de leur vie leurs découvertes ?

Vol direct ou à relais

Le vol avec relais sur satellite terrestre a de nombreux avantages théoriques dont le principal est de n'exiger que des véhicules de dimensions relativement modestes, du genre Saturn déjà aux essais. Il a contre lui d'obliger à effectuer des lancements successifs minutés avec une extrême précision pour avoir quelque chance de retrouver le satellite relais, et à prévoir des systèmes de guidage et de propulsion supplémentaires pour modifier au besoin en cours de vol le plan de l'orbite des véhicules lancés afin de le faire coïncider avec celui du satellite relais. On ne pourrait éviter ces complications coûteuses en énergie qu'en effectuant tous les lancements dans le plan équatorial terrestre à partir de bases dont aucune n'existe encore. En outre, un tel vol à relais nécessiterait sans aucun doute des lancements très nombreux pour transporter le matériel et les hommes destinés au montage de la station relais.

En définitive, si le véhicule nécessaire au vol direct n'existe pas encore, il est probable qu'il sera réalisable avant le moment où on pourra, par le vol à relais, envoyer un homme sur la Lune; ce véhicule sera d'ailleurs alors indispensable pour ravitailler la base lunaire dans les conditions les plus rentables. Enfin, si le vol direct implique une poussée beaucoup plus importante au départ, le raccourcissement de la durée du voyage réduit

relais pourra être la meilleure formule

beaucoup les exigences en précision au lancement, tant en vitesse qu'en direction.

Pour le voyage retour, ce sont aussi des raisons d'économie qui font préférer le retour direct à l'utilisation d'un satellite relais ou d'un freinage destiné à placer le véhicule sur une orbite terrestre avant d'aborder la rentrée dans l'atmosphère à la manière des capsules du projet Mercury. Les spécialistes du NASA connaissent les difficultés du problème de la rentrée directe à vitesse hyperbolique, de l'extrême précision avec laquelle l'angle d'attaque de la capsule devra être maintenu, de l'échauffement dû à l'intense frottement de l'air. Ils estiment cependant que les progrès techniques actuels doivent permettre de résoudre le problème.

Propergols classiques ou à haute énergie

Une cabine spatiale pour 2 à 3 hommes avec leur approvisionnement, les appareils de guidage et tout l'équipement scientifique conduit à un poids d'environ 3,6 t; la cabine sera à 2 étages, l'étage inférieur étant réservé à l'équipage, aux appareils de conduite et de radio. Ceci amène déjà à envisager une fusée d'un poids de plus de 1 800 t au départ, donc une poussée au départ de plus de 2 700 t.

Une fusée d'une poussée de 680 t est actuellement à l'étude au NASA avec l'oxygène liquide et le kérosène comme propergols. Il est donc possible d'obtenir, pour le premier étage, la poussée voulue au décollage par l'assemblage de telles fusées. Mais l'étude des propergols à employer pour le second étage conduit à donner la préférence à la combinaison oxygène liquide - kérosène, ce qui entraîne à exiger du premier étage une poussée de 4 080 t. On voit donc déjà se dessiner les deux premiers étages, le premier constitué par le groupement de 6 fusées de 680 t de poussée alimentées par 7 réservoirs d'un diamètre de 4,87 m, le second par une fusée identique (version haute altitude) alimentée par 4 réservoirs de même diamètre que les précédents.

Le troisième étage donnant une poussée de 272 t sera propulsé par 4 fusées fonctionnant à l'hydrogène et oxygène liquides. De telles fusées sont actuellement à l'étude et on peut espérer leur mise au point prochaine. Le quatrième étage utilisera lui aussi 4 fusées à l'hydrogène et oxygène liquides pour aborder la Lune et prendre contact en

douceur, le débit des fusées étant réglable et le pilote disposant d'une minute pour choisir son terrain. Sur la Lune, ce quatrième étage enveloppant totalement le cinquième le maintiendra à l'abri des météorites et assurera son isolement thermique pour la bonne conservation des propergols du cinquième étage. Il servira aussi d'« affût » pour guider le lancement de retour vers la Terre.

Le cinquième étage utilisera comme les étages précédents un propergol à haute énergie ce qui permet de réduire considérablement le poids au départ de la Terre et par suite la poussée initiale. Les autres fusées utilisées sont des fusées de guidage dites fusées Vernier permettant d'orienter convenablement le véhicule soit lors de sa prise de contact avec la Lune, soit lors de sa rentrée dans l'atmosphère.

Les formes de guidage

Tant pour le voyage aller que pour le retour, on peut considérer trois phases principales correspondant à des guidages différents, le départ, le mi-parcours, la fin de course, le pilote ayant la possibilité de prendre lui-même les commandes ou mettre en action un pilote automatique.

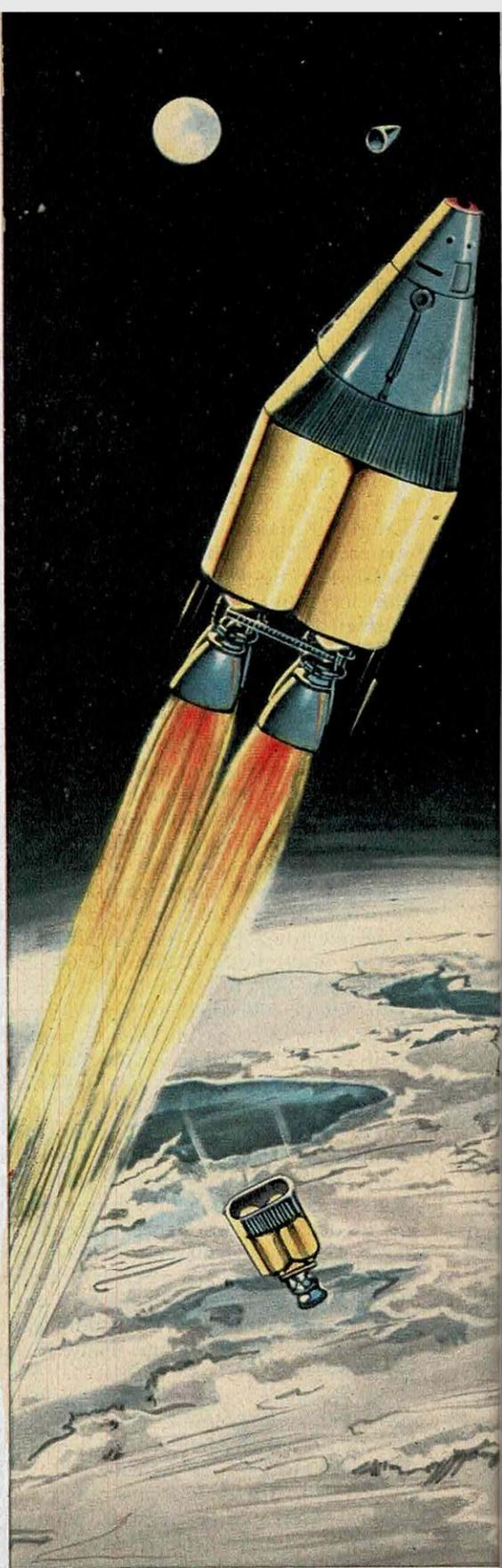
En supposant un déroulement parfait des opérations, un système à inertie analogue à ceux actuellement en usage sur les projectiles intercontinentaux, servirait au guidage initial. A mi-parcours, le guidage serait pris en charge par une base terrestre qui, par commande radio, devrait pouvoir amener le véhicule à 60 km de la Lune. Un poste radar assurerait alors le guidage final sur l'aire d'alunissage. En dehors de la phase initiale, le pilote pourrait intervenir par des mesures de distance, d'angle d'attaque et en dirigeant lui-même la prise de contact.

Au départ de la Lune, un système de guidage par inertie serait mis en action après son réglage astral par le pilote. La rentrée serait abordée en combinant les données radio terrestres et les observations du pilote, puis le véhicule serait totalement pris en charge par les bases terrestres qui assureraient aussi bien le programme correct de décélération que le contrôle final du parachutage et de la récupération en mer.

Faisons maintenant un bond de dix ans dans le futur et assistons, comme à la télévision, au déroulement de l'expédition Lune telle que nous la présentent M. W. Rosen et F. C. Schwenk.



1



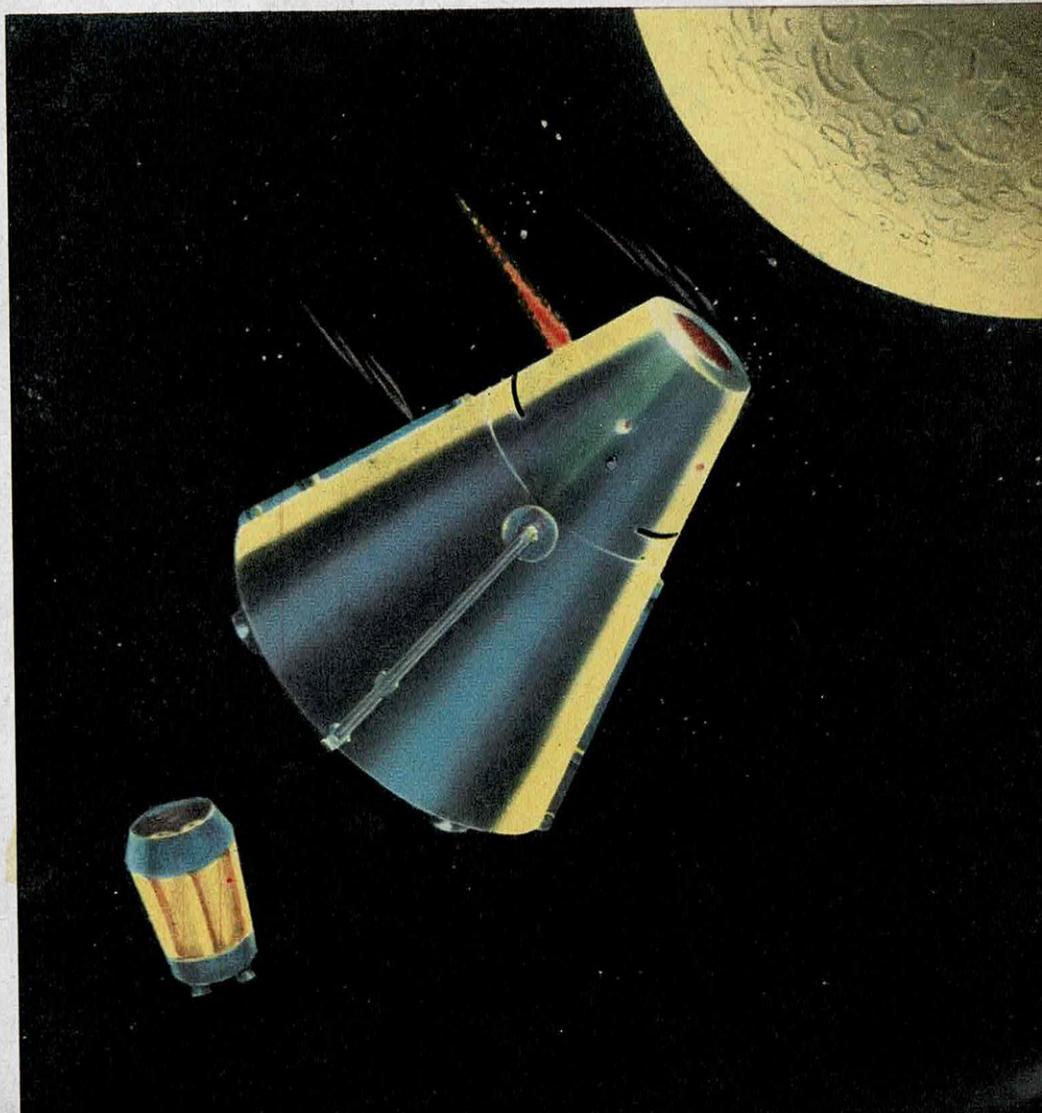
2

Le voyage de la Terre à la Lune

Le départ de la fusée géante de 67 m de haut ne se déroule pas au milieu de la foule habituelle des lancements jusqu'ici classiques, la technique ayant permis de simplifier au maximum les opérations de dernière heure, donc de réduire le nombre de techniciens nécessaires à leur exécution. Aucun haut-parleur ne hurle les secondes à rebours, chaque exécutant étant muni d'un récepteur le tenant au courant du temps restant avant la mise à feu des 6 énormes moteurs-fusées constituant le premier étage. Après un départ majestueux, la fusée monte verticalement durant 10 secondes, puis s'incline légèrement vers l'est.

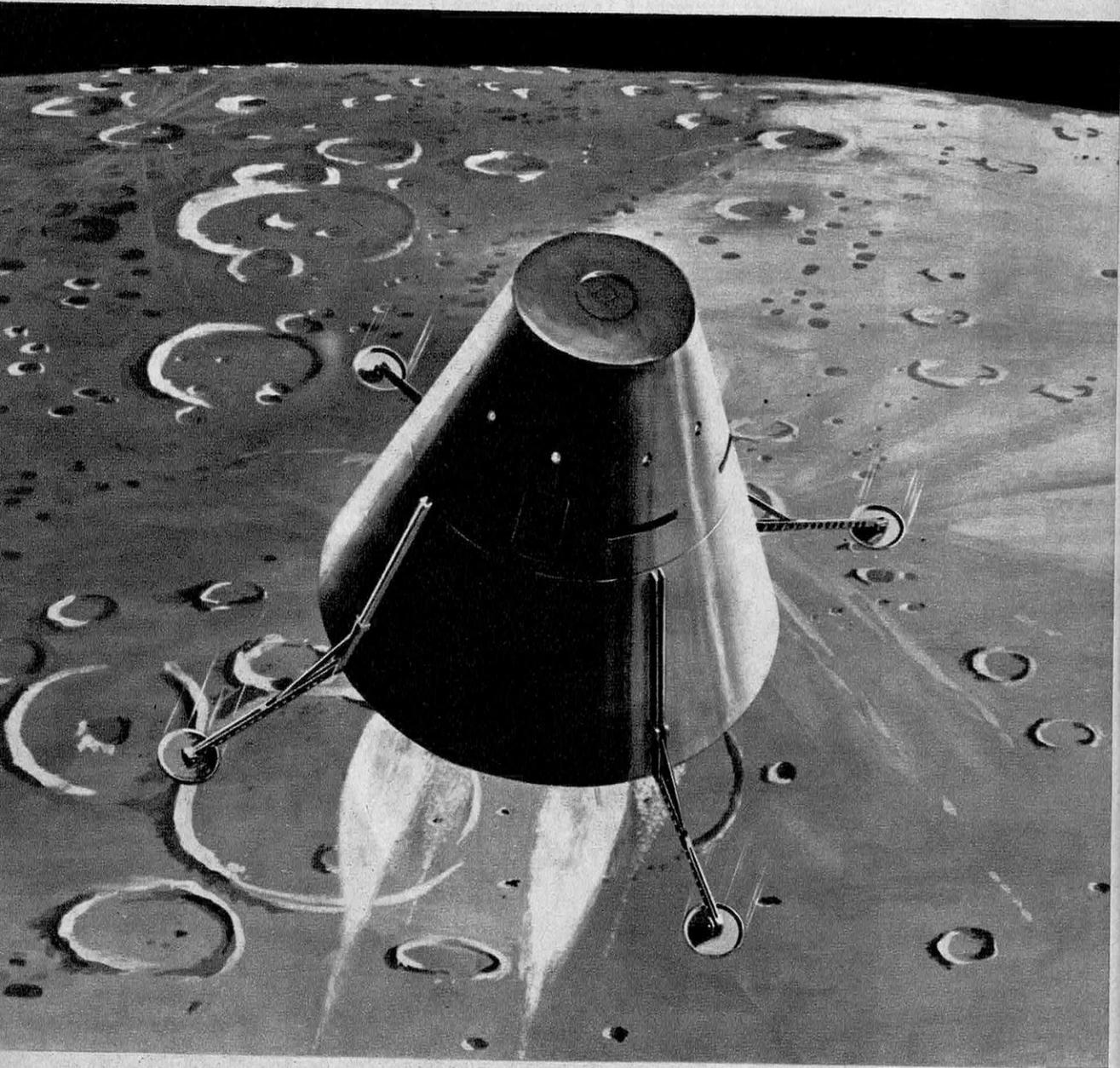
Le premier étage continue à brûler durant 135 secondes jusqu'à une altitude de 56 km, où il se sépare du reste de la fusée, sa récupération au sol étant assurée par des parachutes. Le second étage prend le relais (1), brûle durant 177 secondes donnant une vitesse de 4 818 m/s, puis se sépare à son tour pour se désintégrer dans les hautes couches de l'atmosphère. Le troisième étage (2) entre en action, la fusée étant alors presque parallèle à la surface de la Terre à une altitude d'environ 137 km.

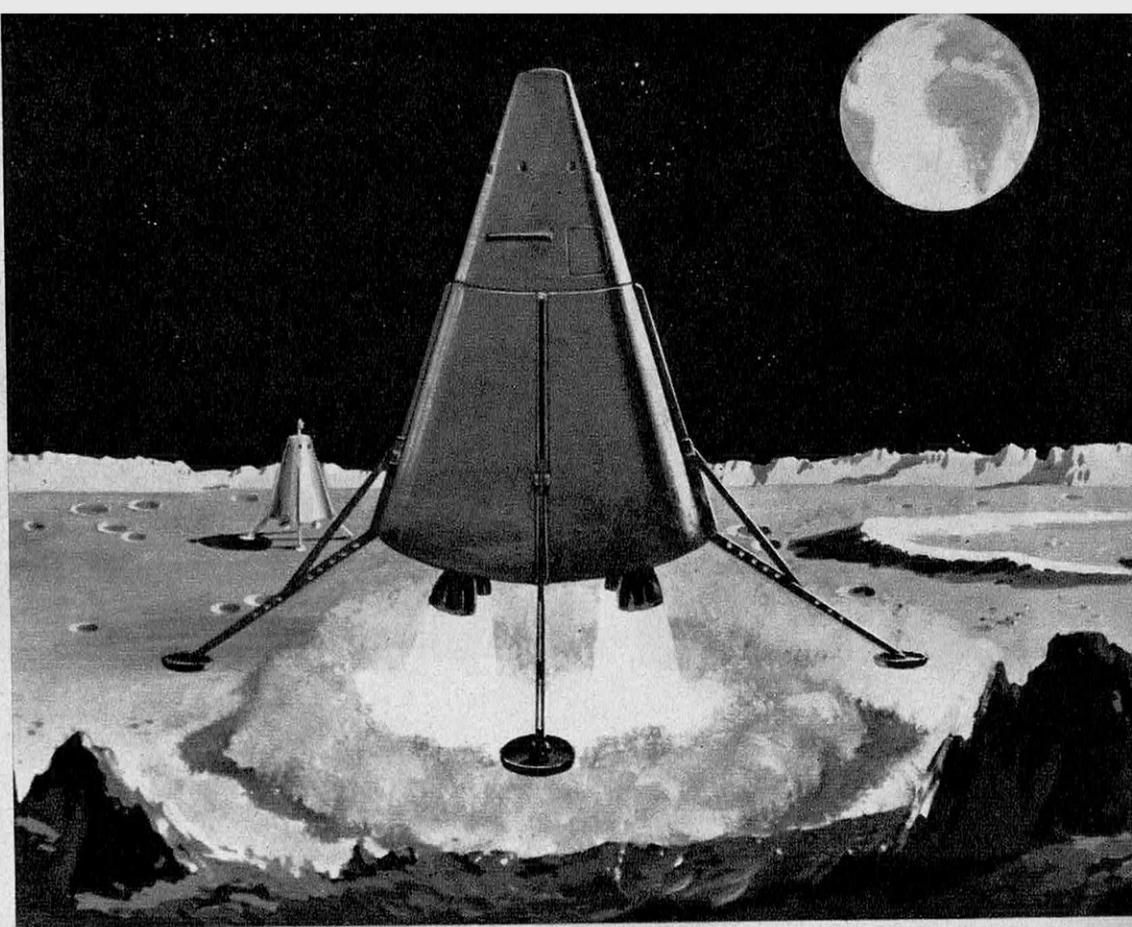
Dès qu'il a achevé sa combustion, le troisième étage se sépare du véhicule lunaire qui reste enfin seul et continue son vol devenu strictement balistique, avec toutes les conséquences de la non-pesanteur qui en résulte pour le matériel et les passagers. Ce voyage dure quelque 60 heures jusqu'aux environs de la Lune. Des fusées Vernier (3), sorte d'éjecteurs de gaz sous pression, à la disposition du pilote, lui permettent alors d'orienter convenablement le véhicule pour procéder à l'alunissage.



La descente sur le sol lunaire

DÈS que l'altitude est convenable (4) quatre rétro-fusées entrent en action pour freiner la vitesse de l'engin. Un système de guidage permet au pilote de choisir son terrain d'atterrissage pendant qu'il procède à la sortie de son train d'alunissage, formé de béquilles qui assurent à l'ensemble une base de 12 mètres de large. Le dosage de la poussée des fusées permet une prise de contact en douceur (5). La porte du sas est déverrouillée, une échelle déroulée, et les astronautes prennent contact avec le sol lunaire (6). Non loin d'eux se trouve l'appareil de secours, exactement semblable au leur, qui a été envoyé par précaution un mois plus tôt. Ils trouvent de même le poste émetteur que l'on a envoyé sur la Lune un an auparavant et qui a permis le jalonnement de l'aire d'alunissage.

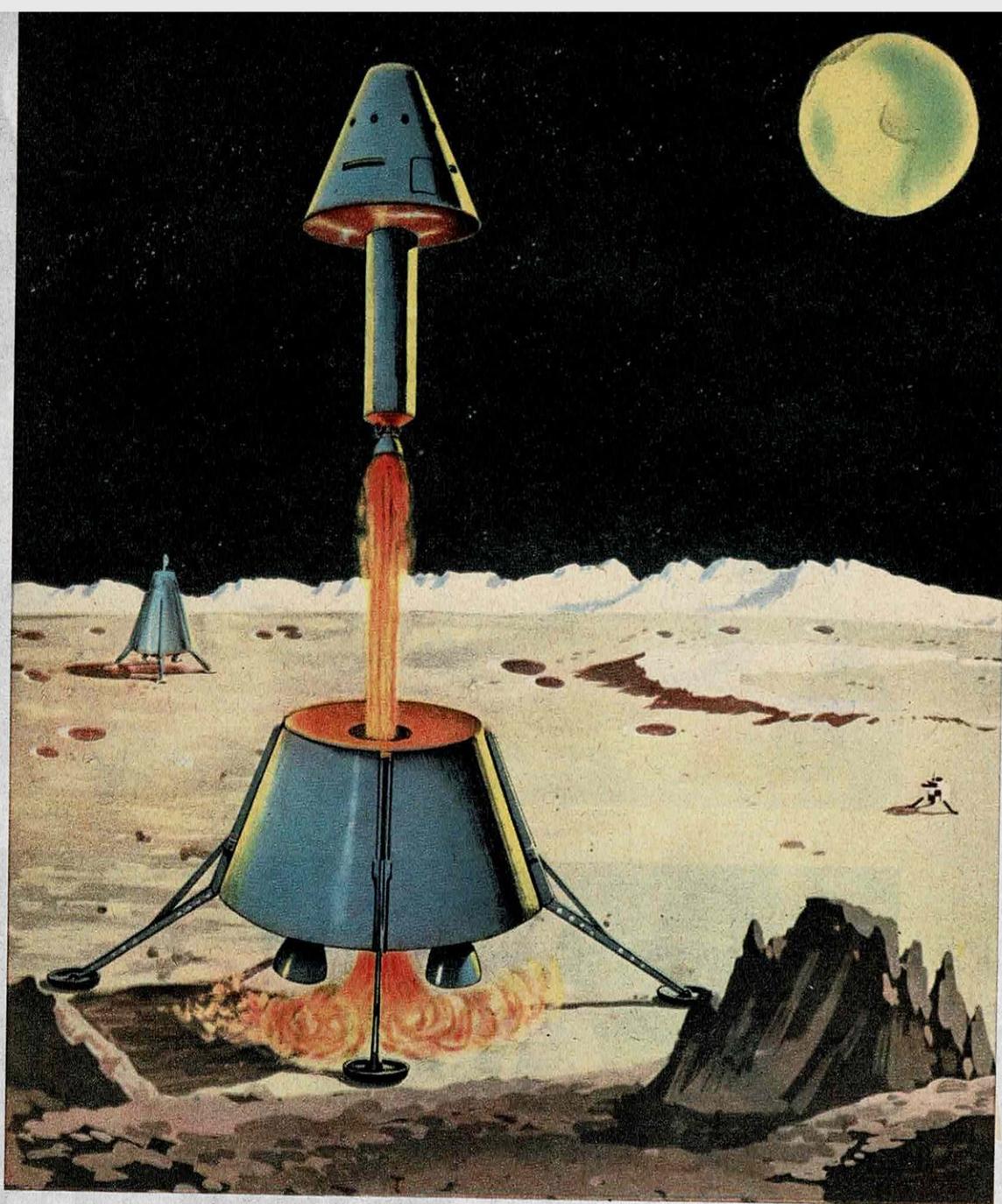




5



6

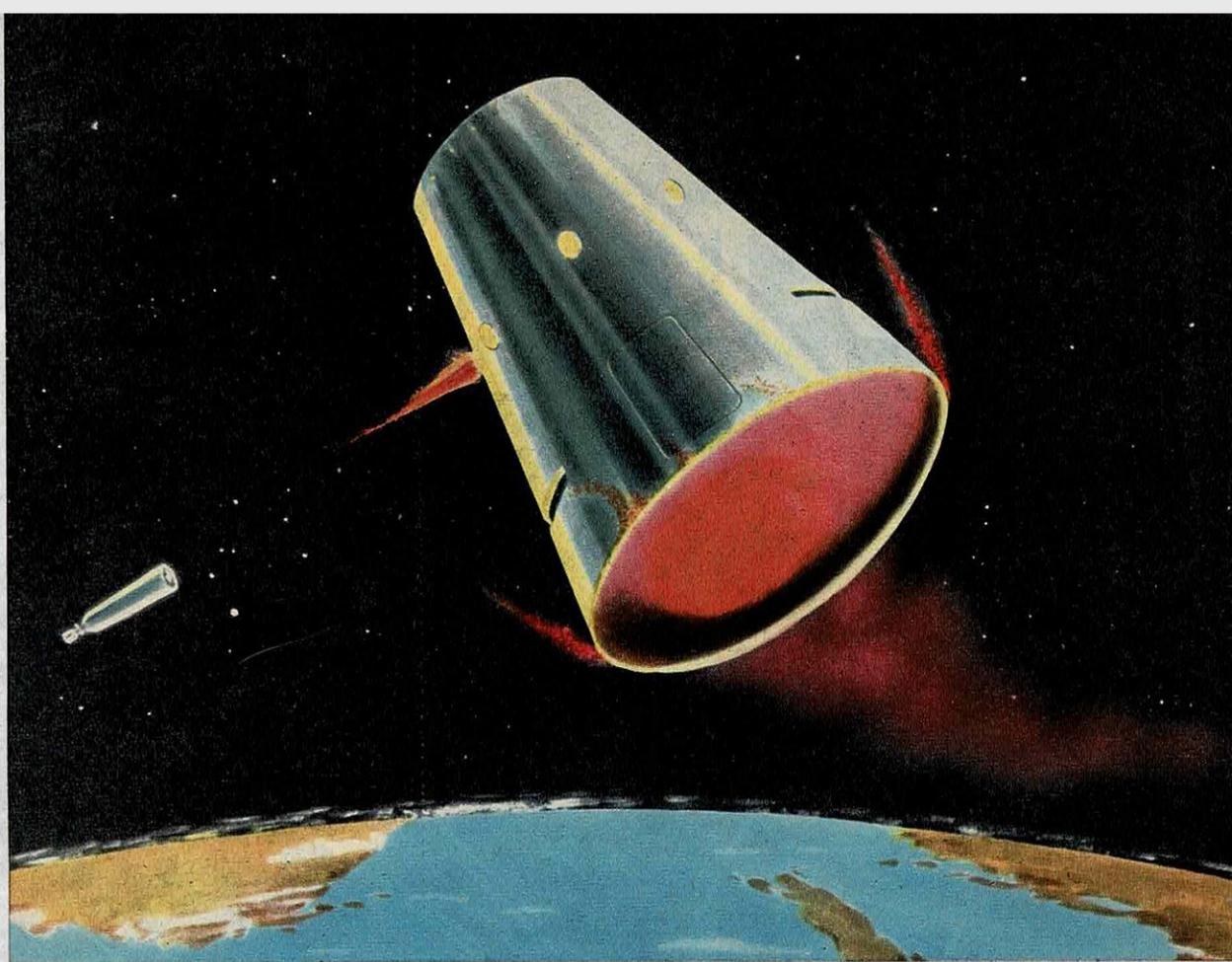


7

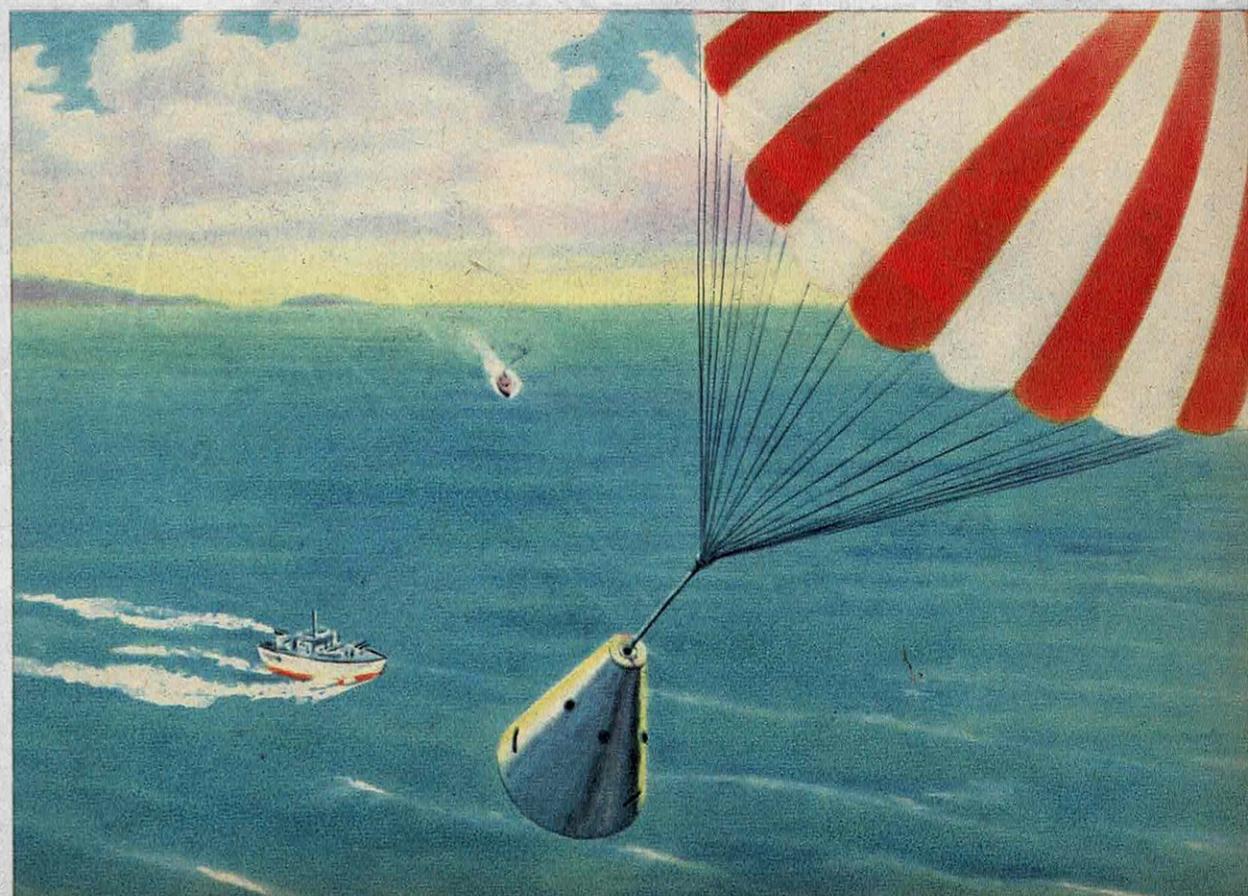
EXPÉDITION LUNE

Le voyage de retour à la Terre

LEUR appareil n'ayant été endommagé ni au cours du vol aller, ni à l'alunissage, les astronautes laissent l'appareil de secours à leurs successeurs. Après un séjour de 12 jours, ils réintègrent leur nacelle. Le cinquième étage est mis à feu, son lancement étant guidé par le quatrième étage portant les rétro-fusées épuisées (7). Après une durée de combustion de 220 s, le second vol balistique de 60 heures commence avec quelques corrections par fusées Vernier pour faire prendre à la capsule le corridor de rentrée hyperbolique dans l'atmosphère terrestre. Le 5^e étage éjecté, la capsule commence à descendre sous un angle d'attaque soigneusement contrôlé. Sa partie antérieure est portée au rouge et fond en partie (8). A 9 000 m, un grand parachute freine sa chute dans l'Atlantique (9).

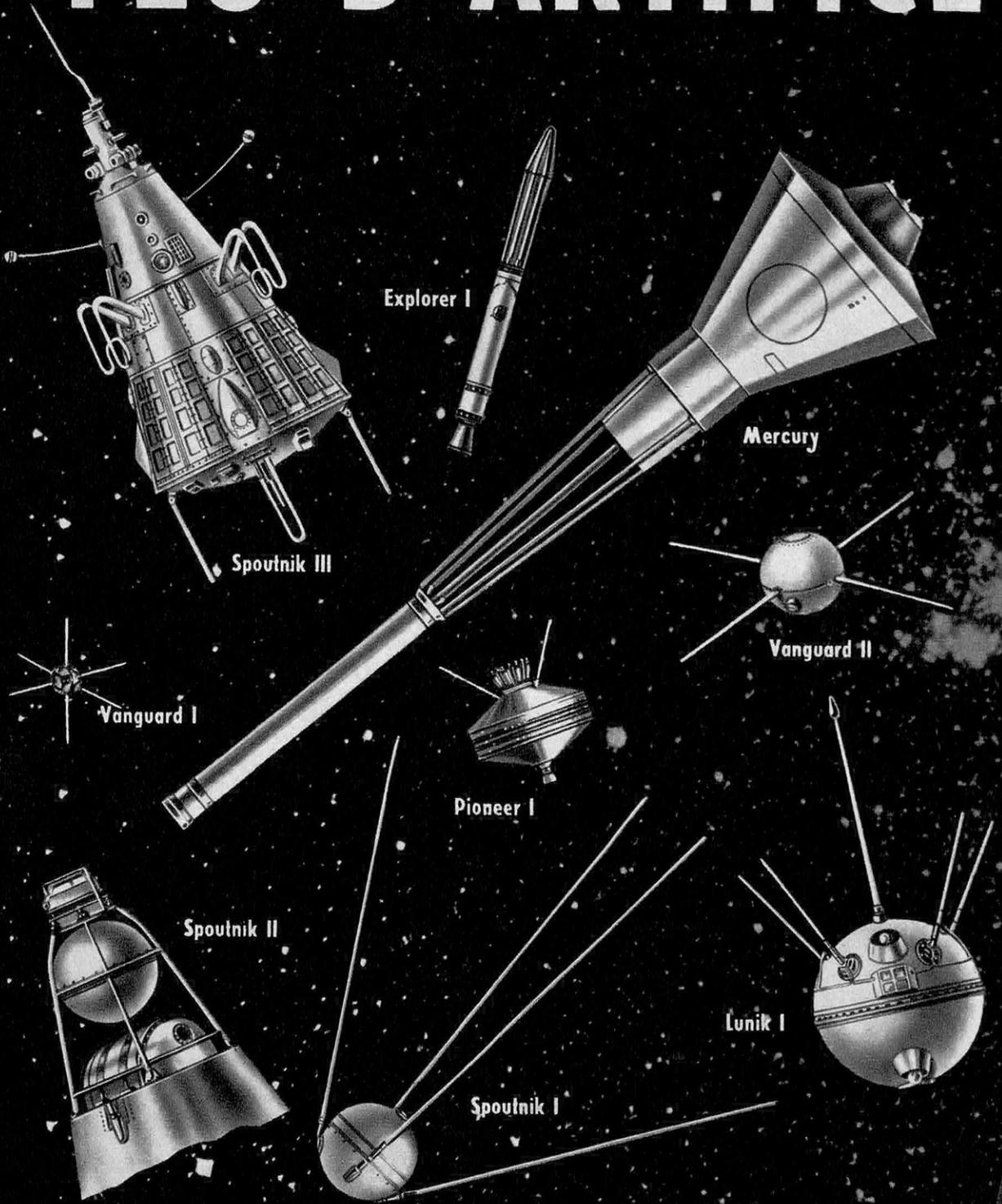


8



9

FEU D'ARTIFICE



Explorer I

Mercury

Sputnik III

Vanguard II

Vanguard I

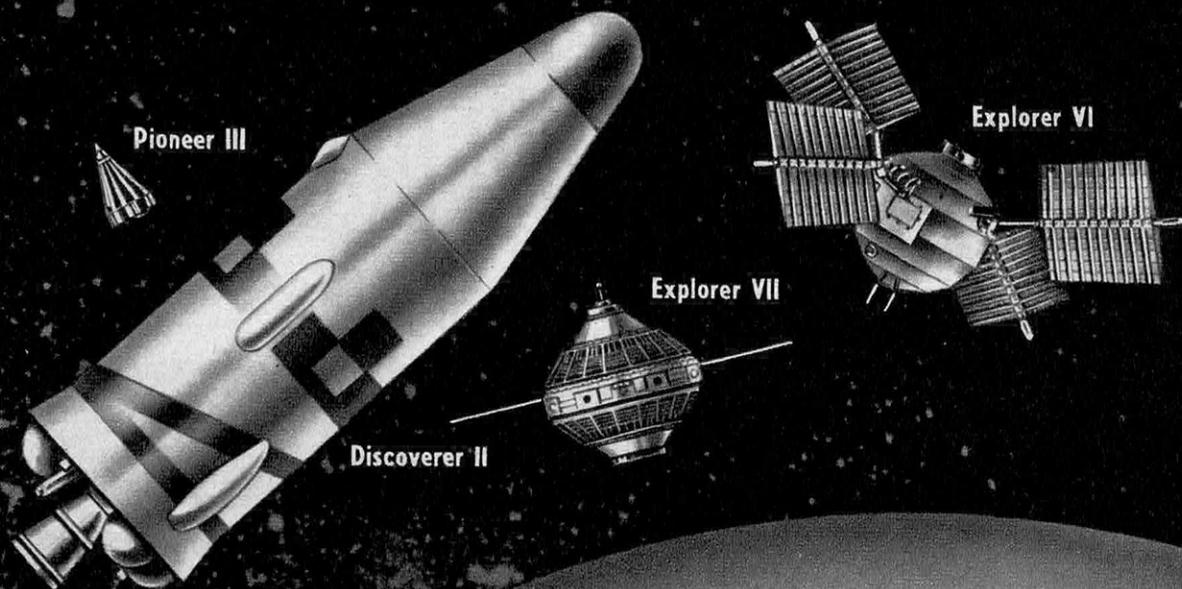
Pioneer I

Sputnik II

Lunik I

Sputnik I

DANS L'ESPACE



EN cette quatrième année de l'ère cosmonautique, 24 capsules spatiales éphémères, contenant environ 400 kg d'instruments précieux ont déjà vogué dans l'espace. La plupart d'entre elles ont terminé leur brève carrière en touchant les hautes couches de l'atmosphère terrestre où elles se sont volatilisées, mais une dizaine poursuivent encore leur route céleste, tandis que quelques cônes de fusées errent çà et là, attendant leur fin prochaine.

En 28 mois, ce gigantesque feu d'artifice, alimenté par quelque 1 300 tonnes de fusées américaines et 1 100 tonnes de fusées russes, a permis 43 tirs d'exploration interplanétaire: du côté U.S.A., 37 mises à feu dont 18 se soldèrent par un échec plus ou moins total; du côté russe, 6 tirs, 6 succès, mais auxquels il conviendrait peut-être d'ajouter quelques « ratés » probables et non avoués.

L'histoire a commencé le 4 octobre 1957 par le bip-bip émouvant de ce minuscule astre, Spoutnik I, que des hommes avaient, pour la première fois, ajouté aux milliards de milliards d'astres du Cosmos.

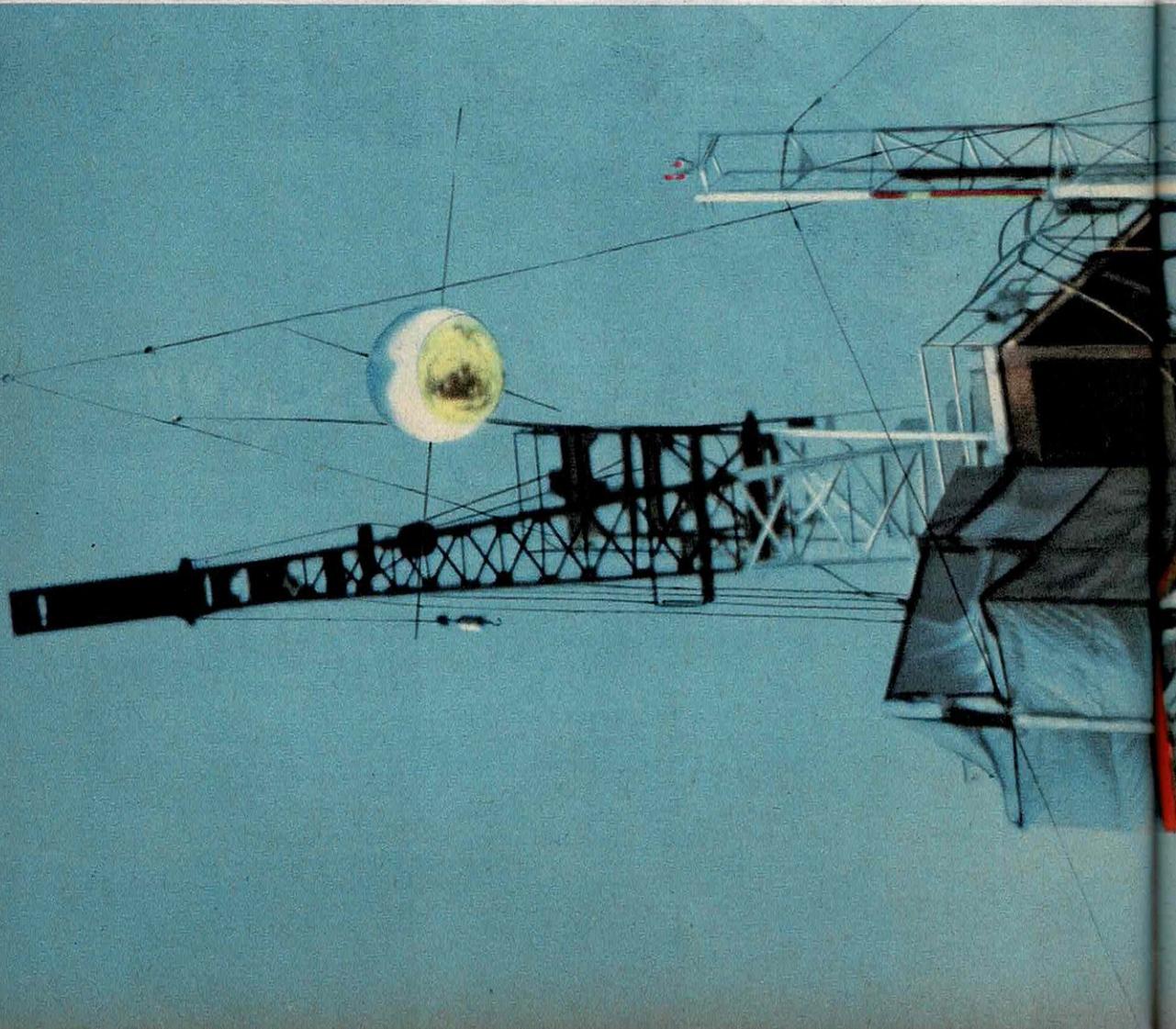
La préhistoire, elle, n'a pas d'âge. Ce rêve de l'humanité — s'envoler dans l'espace cosmique pour en percer les mystères — s'inscrit déjà, gravé sur les cylindres de terre cuite du roi de Ninive, Assurbanipal, et éclate dans les poèmes philosophiques du Bhagavadgita, ce bréviaire de l'Inde ancienne destiné aux voyageurs yogis vers la Lune. Par delà le canon dérisoire de Jules Verne, une date pourtant préjuge des possibilités réelles des vols spatiaux: 1903. Il y a 57 ans,

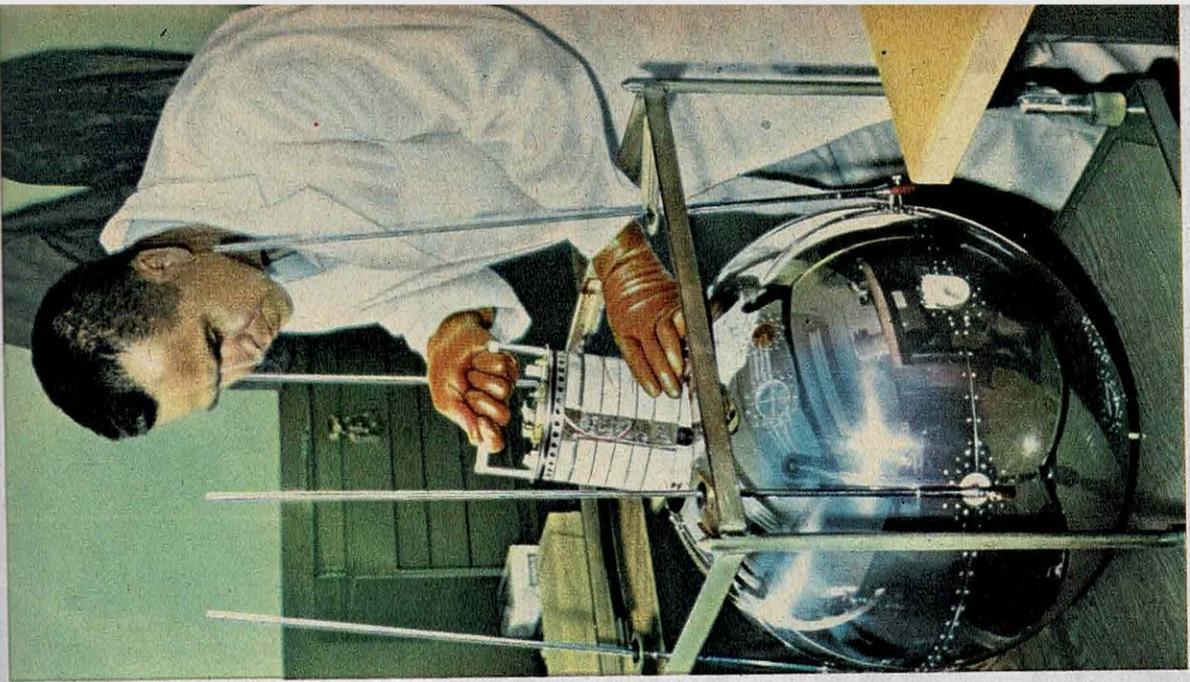
Les préparatifs du Vanguard II

DÈS que les Américains eurent réussi, après deux tentatives infructueuses, à placer sur orbite le premier satellite Vanguard, il fut décidé, bien qu'il restât encore un « pamplemousse » à tirer dans le cadre des lancements prévus pour l'Année Géophysique, de passer à la mise en place de la seconde série de satellites. Il s'agissait de sphères près de trois fois plus grosses et sept fois plus lourdes. Il fallut attendre le cinquième tir pour réussir à placer une de ces sphères polies, en alliage de magnésium, sur orbite : ce fut Vanguard II, contre, lancé le 17 février 1959 et dont la vie probable est estimée à quelque 10 ans. Les émetteurs travaillant sur 108 et 108,03 Mc — cette dernière fréquence servant au positionnement de l'engin par les stations terrestres — cessèrent de fonctionner au bout de 27 jours : les batteries d'alimentation étaient uniquement chimiques.

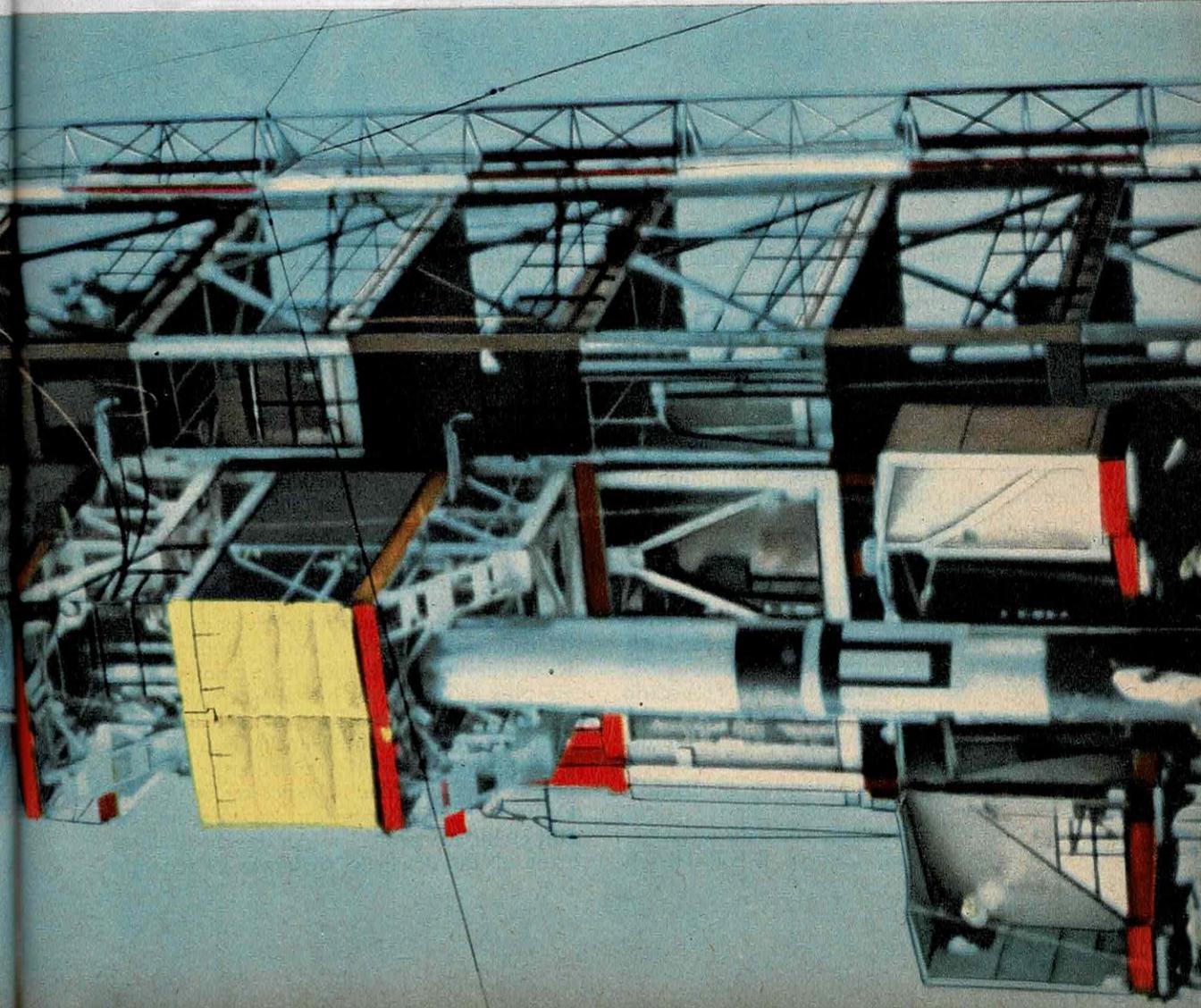
Son périégée de 558 km évitant les couches denses de l'atmosphère terrestre en faisait déjà un satellite géodésique ; il est maintenant strictement passif, mais son observation optique continue cependant à renseigner les astronomes par l'étude des déformations de son orbite. Ce fut aussi le premier satellite météorologique américain à être mis en place. Il servit à l'étude assez grossière de la répartition des systèmes nuageux dans la troposphère. Il a fourni une image très fruste de ces masses nuageuses, la rotation du satellite sur lui-même pour sa stabilisation, en même temps que son avancement sur l'orbite, assurant le balayage d'exploration comme pour une image télévisée.

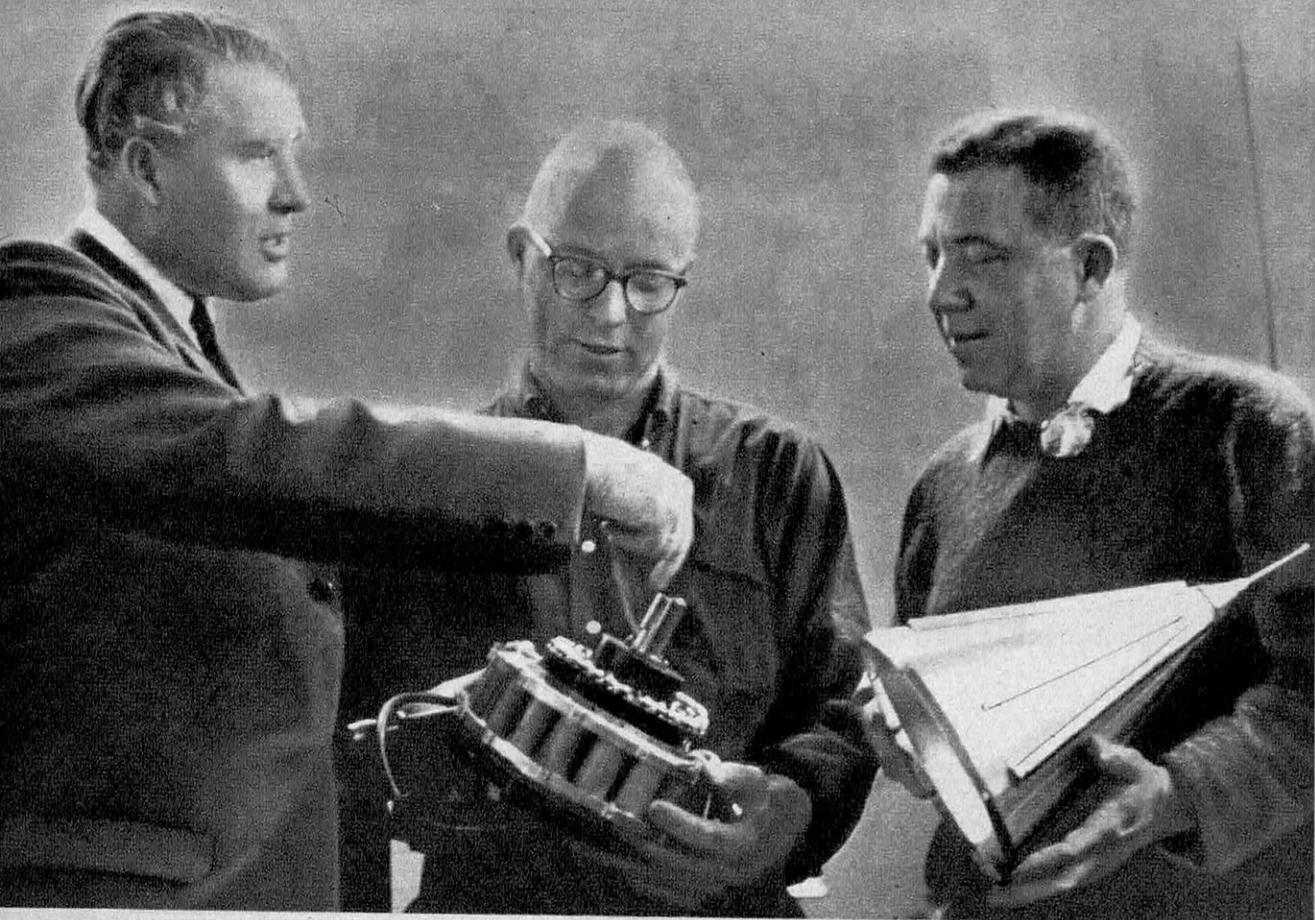
La sphère de 51 cm qui constitue le satellite proprement dit reçoit ci-dessous son lot d'instruments ; sur la photo de gauche, avant de la placer sur la fusée, on procède à l'étalonnage des détecteurs.





(Photo USIS)





(Photo USIS)

le Russe Constantin Tziolkovsky transposait dans le domaine scientifique les conceptions fantaisistes du romancier en décrivant le premier projet sérieux de fusée interplanétaire.

Le 10 juin 1911, c'est notre compatriote A. Bing qui prend un brevet de « fusées composées ». Le 15 novembre 1912, Robert Esnault-Pelterie expose à la Société Française de Physique ses vues sur l'astronautique; le 8 juin 1927, il fait à la Sorbonne sa mémorable conférence sur la possibilité des voyages interplanétaires, et le 1^{er} février 1928, il fonde en collaboration avec M. André-Louis Hirsch le prix R.E.P.-Hirsch.

Entre temps, d'autres savants s'attaquent au vol interplanétaire: en 1923 l'ingénieur roumain H. Oberth (naturalisé allemand par la suite), en 1924 le professeur russe V. P. Wetschiukine, en 1925 l'Allemand Hohmann et l'Américain Goddard qui fut le premier à tenter l'envoi d'une fusée à carburant liquide. Puis ce fut la guerre où les fusées conçues pour l'astronautique furent utilisées à d'autres fins.

Un détail mérite d'être sorti du fatras de l'histoire: en 1934, le prix R.E.P.-Hirsch

était décerné à un savant russe: Ary Sternfeld. Qui aurait pu se douter alors que Sternfeld serait, 23 ans plus tard, l'un des responsables du Spoutnik I et qu'à nouveau, M. André-Louis Hirsch serait appelé à lui décerner ses louanges? Pour nous qui sommes aujourd'hui en dehors de la course, c'est tout de même une consolation d'apprendre, par sa lettre de réponse à M. Hirsch publiée récemment, quelle reconnaissance Sternfeld voue aux savants français qui l'ont encouragé dans ses premiers pas.

Les Russes? ... des bluffeurs?

Les gens sérieux qualifiaient volontiers l'astronautique de « distraction inoffensive ». Rien d'étonnant que tous les pionniers aient été plus ou moins en but au scepticisme de leurs contemporains. Ni Esnault-Pelterie, en France, ni même von Braun, tant en Allemagne qu'aux États-Unis, plus tard, n'échappèrent à ce climat de méfiance ou de dédain. On voulut bien, cependant, accorder un certain crédit aux projets américains de satellites artificiels qui devaient être lancés à l'occasion

Savants russes et américains

LONGTEMPS décriée et tournée en ridicule, l'Astronautique est en passe de prendre, si elle ne l'a déjà prise, la première place parmi les activités humaines, scientifiques ou industrielles. Des savants, hier complètement ignorés du public, ont désormais la vedette de la radio et de la grande presse. Ces photos nous permettent de faire la connaissance de quelques-uns d'entre eux. — A gauche, von Braun, père du premier satellite américain, l'Explorer I, fait des commentaires au professeur Van Allen, désormais célèbre par sa découverte des ceintures de radiations, sur le Pioneer IV dont Van Allen tient le cône. A droite Leonid I. Sedov, chef des programmes astronautiques russes, présente un Lunik III au Colonel John Stapp, président de l'American Rocket Society.



de l'Année Géophysique Internationale. On ne prêta par contre aucune importance aux déclarations russes. En 1955, le professeur Sedov n'avait-il pas annoncé, au Congrès d'Astronautique de Copenhague, que les Russes seraient vraisemblablement prêts avant les Américains et qu'ils lanceraient des satellites plus gros ? Au début de 1957, de nombreuses revues russes n'avaient-elles pas parlé des Spoutniks et donné des détails sur leur mode de lancement, leurs orbites possibles, leurs systèmes de transmission, leur point de départ approximatif, etc... ? Un ouvrage en vente dans toutes les librairies moscovites donnait même tous les détails de l'opération.

Il n'est pire sourd que celui qui ne veut pas entendre. Les Russes n'avaient pas caché être en possession d'une fusée intercontinentale ; le monde occidental les traita de « bluffeurs ». Ils n'avaient pas davantage caché leur intention de donner « beaucoup plus d'éclat que l'on ne pouvait supposer », à la fois au 40^e anniversaire de la Révolution d'octobre, et... au centenaire de Tziolkovsky.

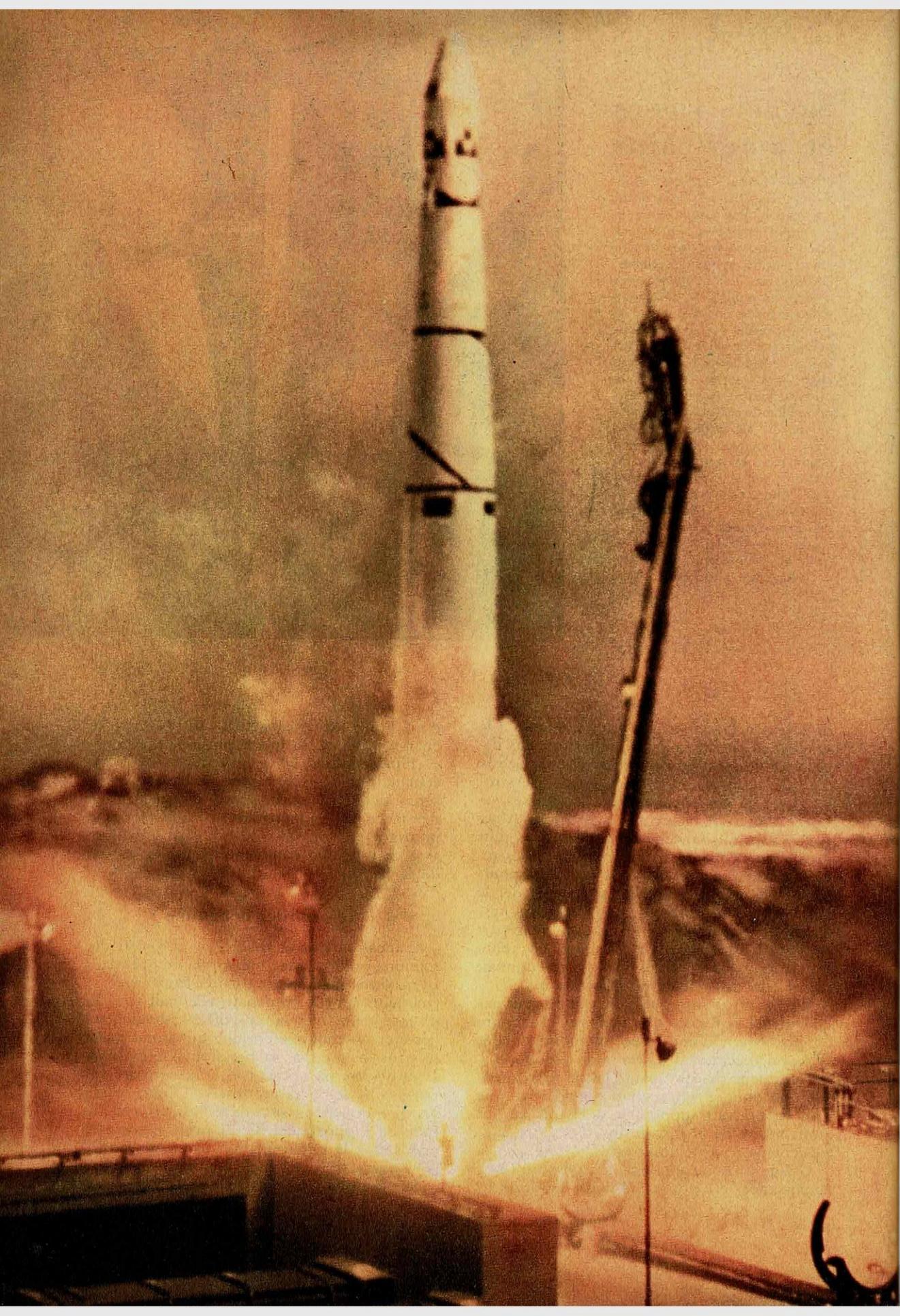
Quand Moscou annonça, le 5 octobre 1957, la naissance de la nouvelle Lune « Spoutnik I »

d'un poids déjà respectable de 83,4 kg de charge utile, ce fut une explosion de surprise et d'incrédulité. Le scepticisme de certains était tel que des professeurs éminents proposèrent des articles à de grands quotidiens pour dénoncer la « supercherie » russe. Il fallut pourtant en convenir, le nouveau bébé-lune avait bel et bien commencé sa ronde autour de la Terre.

Le premier bébé-lune

C'était une petite sphère en alliage d'aluminium, polie comme un miroir pour réfléchir au maximum la lumière solaire. En plus des 2 émetteurs qu'elle contenait, elle était remplie d'azote, de manière à pouvoir éventuellement détecter un choc météorique qui aurait percé sa paroi et modifié sa pression interne. Elle avait d'autre part pour rôle la mesure des variations de température interne. Enfin, les signaux radio d'émission devaient servir à l'étude de l'ionosphère, de la propagation des ondes et à la détermination de sa trajectoire par observation de l'effet Doppler.

Sur la fusée, on ne sait pas grand chose si-



non que son dernier étage (d'environ 3 tonnes) a été lui aussi satellisé ainsi que le cône protecteur.

Pour les astronomes, ces nouveaux corps célestes furent cotés 1957 α_1 , pour la fusée, et 1957 α_2 , pour le satellite lui-même, cette cotation, la même que celle des comètes, faisant passer en premier le corps le plus brillant.

Suivant les lois de la mécanique céleste, le corps de la fusée, plus sensible au freinage par l'atmosphère, précéda le satellite au bout du 24^e jour. Au 51^e jour, le 25 novembre, il avait déjà huit tours d'avance. Les spécialistes anglais de Jodrell Bank et les Américains conclurent à sa chute au bout du 879^e tour, le 1^{er} décembre. Les Russes gardèrent le silence jusqu'au 6 décembre, date à laquelle M. Krouchtchev demanda au gouvernement américain que les morceaux tombés en Alaska soient restitués à la Russie. Pour leur part, les milieux scientifiques américains prétendirent avoir situé au radar la chute de ces morceaux entre la Sibérie et la Chine. Quant au Spoutnik I lui-même, il s'est graduellement désintégré entre le 2 et le 10 janvier 1958.

Le premier voyageur de l'espace

Entre temps, le 3 novembre 1957, le grand Spoutnik II était mis sur orbite. Cette fois encore le lancement avait été annoncé à l'avance par le Dr Anatol A. Blagonravov. Au cours de sa visite aux Nations Unies il avait fait allusion à l'importance du nouveau satellite. On fut cependant surpris une fois encore devant les 508 kg de charge utile, un peu plus que le poids d'une 2 CV (490 kg), et la présence du premier voyageur de l'espace : la chienne Laïka. Or l'expérience avait elle-même été annoncée comme imminente dès le 27 octobre au cours d'une émission de Radio-Moscou.

En fait, le dernier étage n'ayant pas été séparé du satellite proprement dit, l'ensemble formait une masse de plus de 3 tonnes. Une cabine hermétique contenait Laïka avec les différents réservoirs d'alimentation, d'oxygène, d'absorbant pour le gaz carbonique, ainsi que les appareils de mesures biologiques. On trouvait en outre des détecteurs de rayonnement

cosmique, ainsi que des appareils permettant l'étude des rayons X d'origine solaire.

Dans sa cabine, Laïka avait sur elle tout un ensemble de détecteurs de pouls, respiration, tension artérielle, etc... Une circulation artificielle brassait l'air constamment régénéré.

La chute s'est effectuée au bout du 2 370^e tour, dans la nuit du 13 au 14 avril 1958, quelque part entre l'Amérique du Sud et l'Afrique, dans l'Océan Atlantique, une traînée d'étincelles de 100 km de long saluant l'exploit considéré par les Américains eux-mêmes comme un véritable tour de force pour l'époque.

L'Amérique marque un point

Après leur annonce largement diffusée dans le monde de lancement de satellites pour l'Année Géophysique, les Américains eurent quelque amertume à se voir distancés. Les travaux furent activement poussés. Les futurs satellites préparés pour l'Année Géophysique étaient prêts, le réseau d'observations au point, stations Minitrack de repérage radio comme observateurs amateurs. La machine centrale IBM attendait qu'on lui fournisse les premiers éléments d'observations pour débiter ses prévisions sur les caractéristiques des orbites. Il ne restait que la mise au point des fusées elles-mêmes. Un certain retard avait été pris et, le prestige national étant en jeu, il fut décidé de le rattraper coûte que coûte malgré des essais incomplets.

Ce fut un lamentable échec. Le 6 décembre 1957, après le long et minutieux « count down » de onze heures durant lequel toutes les ultimes vérifications sont faites, l'ordre de mise à feu fut donné : l'engin s'éleva d'un mètre à peine pour se briser et exploser au sol, réduisant en cendres 3 milliards de matériel et les espoirs américains.

Dès le 22 janvier, les techniciens de la Marine américaine, chargée du projet Vanguard, préparaient un nouveau lancement. Un premier « count down » commence à 21 h, il traîne et finalement est reporté au 24 puis au 25. Ce jour-là, on arrive à 22 secondes seulement de la mise à feu, mais un nouveau « recyclage » est nécessaire qui parvient à 14 secondes. Il faut recommencer le 26 et c'est l'accident : deux hommes sont blessés et tout le second étage doit être remplacé. Il n'était plus possible de retarder davantage le lancement de l'Explorer I de l'Armée.

On devait, en effet, à l'époque, faire état de la rivalité des trois armes — terre, mer, air — dans le développement des engins. Des voix s'élevaient, nombreuses, pour critiquer ce gaspillage de forces considéré par d'autres comme un aiguillon du progrès technique. Le pro-

← Les essais de récupération

Discoverer II quitte le sol à la base de Vandenberg. Le satellite, comportant le second étage en entier, fut placé sur orbite. Sa stabilisation fut correcte ainsi que l'éjection de la capsule de 88 kg qu'il emportait, mais cette dernière se perdit en mer.

Heurs et malheurs de tous les lancements

ENGIN, FUSÉE	DATE DE LANCEMENT DURÉE	CARACTÉRISTIQUES SATELLITE	CARACTÉRISTIQUES ORBITE	ÉQUIPEMENT RADIO
SPOUTNIK I (U.R.S.S.) Lancement par fusée à 3 étages; probablement kérosène et oxygène liquide pour les deux premiers étages.	4 octobre 1957 - 4 janvier 1958.	Sphère en alliage léger poli. Diamètre: 58 cm. Poids total: 145 kg. Charge utile: 83,4 kg.	Inclinaison sur l'équateur: 65°. Période initiale: 96 mn 10,2 s. Périgée: 228 km. Apogée: 946 km.	2 émetteurs de 1 W sur 20,005 et 40,002 mégacycles alimentés par batteries chimiques. Fin des émissions le 27 oct. 1957.
SPOUTNIK II (U.R.S.S.) Lancement par fusée à 3 étages; probablement comme pour Spoutnik I.	3 novembre 1957 - 14 avril 1958.	Châssis conique portant instruments de mesure, sphère et cabine cylindrique étanches. Charge utile: 508 kg.	Inclinaison sur l'équateur: 65°. Période initiale: 103 mn 45 s. Périgée: 225 km. Apogée: 1 670 km.	2 émetteurs de 1 W sur 20,005 et 40,002 mégacycles alimentés par batteries chimiques. Fin des émissions le 10 nov. 1957.
VANGUARD (U.S.A.) (T.V. 3) Lancement à Cap Canaveral par fusée à 3 étages: 1 ^{er} étage: Martin Viking à propergols liquides; 2 ^e étage: Aerojet à propergols liquides; 3 ^e étage: à propergols solides. Poids au lancement: 10 250 kg.	6 décembre 1957. Pas sur orbite.	Sphère (Pamplemousse). Diamètre: 15,24 cm. Charge utile: 1,5 kg.		Émetteur de 10 mW sur 108 mégacycles (batteries au mercure), émetteur de 5 mW sur 108,03 mégacycles (6 groupes de cellules solaires).
EXPLORER I (U.S.A.) * Lancement à Cap Canaveral par fusée à 4 étages Jupiter C: 1 ^{er} étage: Redstone à propergols liquides; 2 ^e étage: faisceau de 11 Recruit à propergols solides; 3 ^e étage: faisceau de 4 Recruit; 4 ^e étage: 1 Recruit. Poids au lancement: env. 52 000 kg.	31 janvier 1958. Encore sur orbite. Vie probable: 3 à 5 ans.	Cylindre en acier portant 8 bandes d'oxyde d'aluminium. Longueur: 2 m. Diamètre: 15,24 cm. Poids total: 14 kg. Charge utile: 8,5 kg.	Inclinaison sur l'équateur: 33°34'. Période initiale: 114 mn 57 s. Périgée: 360 km. Apogée: 2 530 km.	Émetteur de 10 mW sur 108 mégacycles, émetteur de 60 mW sur 108,03 mégacycles alimentés par batteries au mercure. Fin des émissions respectivement le 23 mai et le 28 février.
VANGUARD (U.S.A.) (T.V. 3 rénové) Fusée comme Vanguard précédent.	5 février 1958. Pas sur orbite.	Comme Vanguard précédent (Pamplemousse).		Comme Vanguard précédent.
EXPLORER II (U.S.A.) Fusée comme Explorer I.	5 mars 1958. Pas sur orbite.	Comme Explorer I.		Comme Explorer I.
VANGUARD I (U.S.A.) * (T.V. 4) Fusée comme T.V. 3 précédent.	17 mars 1958. Encore sur orbite. Vie probable: 200 à 1 000 ans.	Comme Vanguard précédent (Pamplemousse).	Inclinaison sur l'équateur: 34°30'. Période initiale: 134 mn 17,4 s. Périgée: 658 km. Apogée: 3 948 km.	Comme Vanguard précédent. Fin des émissions le 5 avril 1958 sur 108 mégacycles. Émet toujours sur 108,03 mégacycles.
EXPLORER III (U.S.A.) Fusée comme Explorer I.	26 mars 1958 - 27 juin 1958.	Comme Explorer I. Poids total: 14 kg. Charge utile: 8,5 kg.	Inclinaison sur l'équateur: 33,4°. Période initiale: 115,87 mn. Périgée: 195 km. Apogée: 2 810 km.	Comme Explorer I. Fin des émissions: le 15 mai sur 108 mégacycles, le 5 juin sur 108,03 mégacycles.
VANGUARD (U.S.A.) (T.V. 5) Fusée comme T.V. 3 précédent.	25 avril 1958. Pas sur orbite.	Sphère polie. Diamètre: 51 cm. Charge utile: 9,75 kg.		Émetteur de 80 mW sur 108 mégacycles.
SPOUTNIK III (U.R.S.S.) * Lancement par fusée à 3 étages; probablement kérosène et oxygène liquide pour les deux premiers étages.	15 mai 1958. Encore sur orbite. Vie probable: plus de 19 mois.	Cône en alliage d'aluminium. Hauteur: 3,60 m. Diamètre à la base: 1,75 m. Poids total: 1 326 kg. Charge utile: 968 kg.	Inclinaison sur orbite: 65°. Période initiale: 106 mn. Périgée: 217 km. Apogée: 1 880 km.	Émetteurs sur 20,005 et 40,010 mégacycles. Batteries chimiques et solaires.
VANGUARD (U.S.A.) (S.L.V. 1) Fusée comme T.V. 3.	27 mai 1958. Pas sur orbite.	Sphère dorée. Diamètre: 51 cm.		Comme T.V. 5.

connus de satellites

MISSION PRÉVUE	OBSERVATIONS
Mesure des températures et pressions externes et internes, étude de la concentration des électrons dans l'ionosphère, impact des météorites.	Bien que séparés du satellite, le corps du dernier étage ainsi que le cône de protection ont aussi été satellisés, soit au total quelque 3 t; chute de la fusée porteuse au début de décembre 1957.
Étude des réactions physiologiques de la chienne, mesure des températures et pressions, étude du spectre solaire (ondes courtes, ultraviolet, rayons X), rayons cosmiques.	Emportait la chienne Laïka dans la capsule cylindrique à air conditionné. Masse totale satellisée d'environ 3 t, dernier étage intentionnellement non séparé du satellite proprement dit.
Mesures géodésiques, impact des micrométéorites.	Système de guidage par inertie dans le 2 ^e étage. Échec par mauvais fonctionnement du 1 ^{er} étage.
Mesure des températures internes et superficielles, étude des rayons cosmiques et des micrométéorites.	La masse satellisée comprend le dernier étage de la fusée. La saturation des compteurs de particules a fait soupçonner pour la première fois l'existence d'une ceinture de radiations (Van Allen).
Comme Vanguard précédent, plus études biologiques sur microorganismes (levures).	A atteint seulement 6 000 m après 57 s de vol.
Étude des rayons cosmiques et des micrométéorites.	823 s de vol. Mauvais fonctionnement du dernier étage.
Mesures géodésiques et mesure des températures.	Apogée plus haut que prévu. A servi à localiser des îles dans le Pacifique et à déterminer la forme de la Terre. Le 3 ^e étage, de 23 kg, a été satellisé.
Étude des rayons cosmiques et météorites. Mesure des températures internes et superficielles.	Confirme les résultats d'Explorer I sur l'existence des ceintures de radiations. Les renseignements enregistrés sur bande magnétique pendant une révolution étaient transmis en 5 s sur commande d'une station terrestre.
Mesure des impacts météoritiques. Étude des rayons X et de l'ionisation.	Le 3 ^e étage ne s'est pas allumé.
Pression et composition de l'atmosphère; concentration des ions; champs électrique et magnétique; charge électrique du satellite; intensité des émissions corpusculaires solaires; micrométéorites; températures; distribution des photons et des noyaux cosmiques lourds.	Véritable laboratoire spatial emportant en particulier un spectrographe de masse. Masse totale satellisée environ 3,5 tonnes.
Étude des radiations solaires; de la raie Alpha de Lyman; des radiations spatiales; des températures; de l'impact des météorites.	A atteint une altitude de 3 540 m après 20 mn de vol par suite de la séparation incorrecte du 2 ^e étage.

jet « Vanguard » de lancement des satellites était, en fait, patronné par la Navy. Mais en attendant que l'équipe tant raillée du Dr Hagen fût fin prête pour le premier lancement (réussi le 17 mars 1958), les spécialistes de l'Armée de terre, dirigés par von Braun, estimaient pouvoir, eux aussi, entrer dans la compétition. Leur satellite était prêt et ils disposaient d'un lot de fusées Jupiter C qui, une fois aménagées, pouvaient servir d'éléments de lancement.

Le premier étage fut une Redstone (ex-V2 améliorée), dont les propergols furent remplacés par une composition à base d'hydrazine; le deuxième étage était formé d'un faisceau de 11 fusées Recruit; le troisième en comportait 4 et le quatrième une seulement, solidaire du satellite. La mise à feu eut lieu le 31 janvier 1958 à Cap Canaveral après un « count down » de 8 heures seulement. Ce fut la réussite.

A vrai dire, au lieu d'être à peu près circulaire comme prévue, l'orbite fut nettement excentrique, l'apogée se situant vers 2 500 km. On s'enthousiasma donc à l'époque pour ce record d'altitude, mais le grand avantage pratique fut la découverte de la très grande intensité des radiations à haute altitude, les compteurs d'Explorer I ayant été complètement saturés.

Le 5 février, côté Marine, c'était un nouvel échec de Vanguard à Cap Canaveral. L'envol fut normal pendant les 57 premières secondes, mais un signal correcteur ayant été inefficace, la fusée dévia de sa course et se cassa en deux à quelque 7 km. L'incident était d'autant plus regrettable qu'en dehors des mesures courantes de température, une étude biologique fondamentale avait été confiée au satellite : il s'agissait de déterminer de quelle façon des cellules élémentaires (en l'occurrence des levures), se comporteraient sous l'action des radiations et dans l'état de non-pesanteur.

Marine contre Armée

Autorisée à un second lancement, l'Armée américaine se prépara à lancer son Explorer II, et le 5 mars, une fusée Jupiter C emportait un satellite amélioré comportant un compteur cosmique plus complet et un extraordinaire magnétophone miniature permettant de réduire considérablement le temps des émissions et par suite de ménager les batteries chimiques.

Le premier étage fonctionna correctement, le second aussi. La partie paraissait gagnée, d'autant que la mise à feu du second étage commandait automatiquement celle de tous les autres et que les signaux du satellite avaient commencé à être captés par le réseau Mini-

Les lancements de satellites (suite)

ENGIN, FUSÉE	DATE DE LANCEMENT DURÉE	CARACTÉRISTIQUES SATELLITE	CARACTÉRISTIQUES ORBITE	ÉQUIPEMENT RADIO
VANGUARD (U.S.A.) (S.L.V. 2) Fusée comme T.V. 3 précédent.	26 juin 1958. Pas sur orbite.	Sphère (basket-ball).		Comme T.V. 5.
EXPLORER IV (U.S.A.) Fusée comme Explorer III.	26 juillet 1958 - 22 octobre 1959.	Cylindre en acier inoxydable. Diamètre : 15,87 cm. Longueur : 2,03 m. Poids total : 17,5 kg. Charge utile : 11,7 kg.	Inclinaison sur l'équateur : 50,29°. Période initiale : 110,27 mn. Périgée : 262 km. Apogée : 2 221 km.	Émetteur de 10 mW sur 108 mégacycles; émetteur de 24 mW sur 108,03 mégacycles. Batteries au mercure. Fin des émissions : le 19 sept. sur 108 mégacycles, le 6 oct. sur 108,03 mégacycles.
PIONEER O (U.S.A.) (Lunar Probe) Lancement à Cap Canaveral par fusée à 4 étages Thor-Able I : 1 ^{er} étage : Thor à propergols liquides; 2 ^e étage : Vanguard modifié à propergols liquides; 3 ^e étage : X-2 Alleghany à propergols solides; 4 ^e étage : Thiokol à propergols solides. Poids au lancement : 50 800 kg.	17 août 1958.	Tore en fibre de verre. Hauteur : 76 cm. Diamètre : 74 cm. Poids total : 38 kg. Charge utile : 11,3 kg.	Tir à la Lune manqué.	Émetteur de 300 mW sur 108,6 mégacycles; émetteur de 1 W sur 108,09 mégacycles. Batteries au mercure.
EXPLORER V (U.S.A.) Fusée comme Explorer IV.	24 août 1958. Pas sur orbite.	Comme Explorer IV.		Émetteur de 10 mW sur 108 mégacycles; émetteur de 30 mW sur 108,03 mégacycles. Batteries au mercure.
VANGUARD (U.S.A.) (S.L.V. 3) Fusée comme T.V. 3 précédent.	26 septembre 1958. Pas sur orbite.	Comme S.L.V. I. Charge utile : 9,75 kg. Stabilisation par « spin ».		Émetteur de 10 mW sur 108 mégacycles; émetteur de 1 W sur 108,03 mégacycles. Batteries au mercure.
PIONEER I (U.S.A.) Fusée comme Pioneer 0.	11 octobre 1958.	Comme Pioneer 0 Poids total : 38,3 kg. Charge utile : 17,7 kg.	Tir à la Lune. Altitude atteinte : 114 000 km.	Émetteur de 300 mW sur 108,06 mégacycles; émetteur de 1 W sur 108,09 mégacycles. Batteries au mercure.
BEACON (U.S.A.) Fusée Jupiter C.	23 octobre 1958. Pas sur orbite.	Satellite gonflé en plastique recouvert d'aluminium (diamètre 3,66 m), contenu dans un cylindre. Hauteur : 1,27 m. Diamètre : 17,7 cm. Poids total : 14,2 kg. Charge utile : 4,2 kg.		Aucun émetteur.
PIONEER II (U.S.A.) Fusée comme Pioneer I.	8 novembre 1958.	Comme Pioneer I. Poids total : 38,3 kg. Charge utile : 17,7 kg.	Tir à la Lune. Altitude atteinte : 1 550 km.	Émetteur de 300 mW sur 108,06 mégacycles; émetteur de 100 mW sur 108,09 mégacycles. Batteries au mercure.
PIONEER III (U.S.A.) Fusée Juno à 4 étages : 1 ^{er} étage : Jupiter à propergols liquides; 2 ^e étage : 11 Sergeant à propergols solides; 3 ^e étage : 3 Sergeant; 4 ^e étage : 1 Sergeant. Poids au lancement : 54 900 kg.	6 décembre 1958.	Cône en fibre de verre dorée. Hauteur : 58,4 cm. Diamètre : 25,4 cm. Poids total : 5,8 kg.	Tir à la Lune. Altitude atteinte : 102 000 km.	Émetteur de 180 mW sur 960,05 mégacycles. Batteries au mercure.
SCORE (U.S.A.) Fusée Atlas I.C.B.M. à propergols liquides, plus 3 fusées d'appoint. Poids au lancement : 110 678 kg.	18 décembre 1958. 21 janvier 1959.	Cylindre en acier inoxydable. Hauteur : 26 m. Diamètre : 3 m. Poids total : 3 969 kg. Charge utile : 68 kg.	Inclinaison sur l'équateur : 32,3°. Période initiale : 101,46 mn. Périgée : 177 km. Apogée : 1 480 km.	Émetteurs sur 132,435, 132,905, 107,97 et 107,94 mégacycles. Batteries au mercure.
LUNIK I (U.R.S.S.)* (Mechta) Probablement fusée à 3 étages. Poids au lancement : env. 160 t.	2 janvier 1959. En orbite autour du Soleil.	Sphère en acier inoxydable peinte en blanc et noir. Diamètre : 62 cm. Poids total : 363 kg.	Satellite du Soleil. Période : 450 jours. Périhélie : 146,8 millions de km. Aphélie : 198,1 millions de km.	Émetteurs sur 19,997, 19,995, 19,993 et 183,6 mégacycles. Batteries chimiques zinc-argent et oxyde de mercure.

MISSION PRÉVUE	OBSERVATIONS
Étude des radiations solaires; des rayons X engendrés par l'impact des électrons sur le satellite.	Le 2 ^e étage ne s'est pas allumé.
Mesure des températures et étude des radiations cosmiques comme Explorer I et III, mais avec des compteurs renforcés et mieux adaptés: 2 compteurs Geiger et 2 compteurs à scintillations.	Confirmation de l'existence d'un anneau de radiations autour de la Terre.
Étude des radiations.	A atteint une altitude de 12 000 à 21 000 m après 77 s de vol. Mauvais fonctionnement du 1 ^{er} étage.
Étude de l'anneau des radiations avec des compteurs améliorés.	Mauvaise injection sur l'orbite: 659 s de vol.
Étude du rayonnement solaire et terrestre par 2 cellules photoélectriques sensibles aux infrarouges. Étude du système nuageux et des cyclones.	N'a parcouru qu'une seule orbite par suite du mauvais fonctionnement du 2 ^e étage.
Étude du champ magnétique, terrestre et lunaire; mesure des températures, des radiations et de la densité des météorites.	Demi-échec par manque de vitesse initiale. Durée du vol: 43 h 17 mn. Indique une extension de la ceinture de radiations.
Satellite strictement passif, servant à l'étude de la densité de l'atmosphère.	424 s de vol. Séparation prématurée du dernier étage.
Mêmes missions que Pioneer I.	Demi-échec par mauvais fonctionnement du 3 ^e étage. Durée de vol: 42,4 mn. Destruction télécommandée.
Étude de la ceinture de radiations.	Demi-échec par manque de vitesse initiale. Durée de vol: 38 h. Fait soupçonner l'existence d'une deuxième ceinture de radiations autour de la Terre.
Étude des transmissions radiophoniques.	Toute la fusée a été satellisée. L'équipement radio permet de capter et de relayer des messages terrestres, entre autres, de diffuser le message de paix du Président Eisenhower.
Mesure des pressions et des températures. Étude de la composition de l'atmosphère, de la matière interplanétaire, des radiations, des champs magnétiques terrestre et lunaire, des rayons cosmiques, des météorites, etc.	Passé trop loin de la Lune (à 6 500 km) pour pouvoir mesurer son champ magnétique. Avec le corps du dernier étage mis aussi sur orbite, on arrive à un poids de 1 472 kg.

track. L'euphorie ne dura que 3 heures ! L'automatisme d'allumage du quatrième étage fit défaut et, à 350 km d'altitude, il manqua la chiquenaude indispensable à la mise sur orbite. Explorer II parcourut environ 3 000 km avant de retomber dans l'Atlantique.

L'activité du Cap Canaveral ne se ralentit pas pour autant car les responsables du projet Vanguard tenaient à leur revanche: ils avaient déjà dressé une nouvelle fusée porteuse du petit « Pamplemousse ». Cette fois ce fut la bonne et, après plusieurs tentatives de lancement qui débutèrent le 8 mars et arrivèrent assez près de la mise à feu, la sphère polie de 15 cm de diamètre aux armes de la marine américaine tournait enfin dans le ciel. Dans le score Marine-Armée de terre, on en était à 1 partout; dans le match Russie-Amérique cela faisait 2 à 2. La situation s'améliorait.

Le périhélie de plus de 600 km assure une longue vie à Pamplemousse (peut-être plusieurs siècles) car il évite les couches denses de l'atmosphère. Par ailleurs, ses batteries solaires lui assurent des émissions quasi illimitées, du moins tant que ses cellules n'auront pas été détériorées par des météorites.

En dehors de son rôle de satellite purement géodésique, Vanguard I eut une double fonction thermométrique, et ici nous entrevoyons une des méthodes générales utilisées pour que la moisson de renseignements soit la plus ample possible. L'un des émetteurs alimenté par batterie chimique renseignait sur la température interne, sa fréquence de 108 Mc variant en fonction de la température; l'autre sur 108,03 Mc, doté de piles solaires, continue à renseigner sur la température externe par le même processus.

Les « Explorer » prennent l'avantage

Malgré ce succès, les deux échecs précédents avaient laissé le champ libre à toute une série d'Explorer. Le n° II ayant échoué de justesse, Explorer III reprit à son compte les missions de son prédécesseur. Il y réussit parfaitement. Comme pour le n° I, sa stabilisation fut obtenue par la mise en rotation, avant le lancement, du récipient cylindrique qui contient les trois derniers étages. Avec 188 km, son périhélie fut le plus bas de tous les satellites, ce qui fut cause d'une vie assez courte. Là encore des impondérables avaient joué: la vitesse finale avait bien été celle désirée, mais la propulsion finale, autrement dit l'injection sur orbite, ne s'était pas faite perpendiculairement au rayon terrestre, ce qui eut pour effet de décaler le périhélie. Après 93 jours de vie, Explorer III se désintégra le 27 juin 1958.

Les lancements de satellites (suite)

ENGIN, FUSÉE	DATE DE LANCEMENT DURÉE	CARACTÉRISTIQUES SATELLITE	CARACTÉRISTIQUES ORBITE	ÉQUIPEMENT RADIO
VANGUARD II (U.S.A.) ★ Fusée T.V. 3 comme Vanguard I.	17 février 1959. Encore sur orbite. Vie probable : plus de 10 ans.	Sphère polie. Diamètre : 51 cm. Charge utile : 9,4 kg. Stabilisation par « spin »	Inclinaison sur l'équateur : 32,88°. Période initiale : 125,85 mn. Périgée : 558 km. Apogée : 3 322 km.	Émetteur de 10 mW sur 108 mégacycles ; émetteur de 80 mW sur 108,03 mégacycles. Batteries au mercure.
DISCOVERER I (U.S.A.) Lancé de la base de Vandenberg par fusée Thor-Hustler : 1 ^{er} étage : Thor à propergols liquides ; 2 ^e étage : Hustler à propergols liquides. Poids au lancement : 49 000 kg.	28 février 1959 - 5 mars 1959.	Forme cylindro-conique. Hauteur : 5,60 m. Diamètre : 1,52 m. Poids total : 589 kg. Charge utile : 111 kg.	Inclinaison sur l'axe N.-S. : 3°. Période initiale : 95,9 mn. Périgée : 159 km. Apogée : 974 km.	2 émetteurs dont un pour la localisation du satellite. Batteries au cadmium-nickel. Les transmissions ne furent pas continues.
PIONEER IV (U.S.A.) ★ Fusée Thor-Able I comme Pioneer I.	3 mars 1959. En orbite autour du Soleil.	Cône en fibre de verre dorée. Hauteur : 51 cm. Diamètre : 23 cm. Charge utile : 6 kg.	Satellite du Soleil. Période : 443 jours. Périhélie : 147,6 millions de km. Aphélie : 170,7 millions de km.	Émetteur de 180 mW sur 960,05 mégacycles. Durée approximative des émissions : 90 heures.
DISCOVERER II (U.S.A.) Fusée Thor-Hustler comme Discoverer I.	13 avril 1959 - 26 avril 1959.	Cylindre (hauteur 5,80 m, diamètre 1,52 m), plus capsule récupérable de 88 kg (diamètre 83 cm, profondeur 68,5 cm). Poids total : 730 kg. Charge utile : 111 kg.	Inclinaison sur l'axe N.-S. : 2°. Période initiale : 90,5 mn. Périgée : 228 km. Apogée : 354 km.	Comme Discoverer I, plus un émetteur de repérage de la capsule.
VANGUARD (U.S.A.) (S.L.V. 5) Fusée comme T.V. 3 précédent.	13 avril 1959. Pas sur orbite.	Cylindre en fibre de verre (hauteur 44 cm, diamètre 6 cm), plus sphère gonflable en matière plastique aluminisée (diamètre 36 cm). Charge utile : 10,5 kg.		Émetteur de 10 mW sur 108 mégacycles ; émetteur de 80 mW sur 108,03 mégacycles. Batteries argent-zinc.
DISCOVERER III (U.S.A.) Fusée Thor-Hustler modifiée : 1 ^{er} étage : Thor ; 2 ^e étage : Lockheed.	3 juin 1959. Pas sur orbite.	Comme Discoverer II.		Comme Discoverer II.
VANGUARD (U.S.A.) (S.L.V. 6) Fusée comme T.V. 3 précédent.	22 juin 1959. Pas sur orbite.	Sphère polie 51 cm de diamètre comme Vanguard II. Charge utile : 10,2 kg.		Émetteur de 10 mW sur 108 mégacycles ; émetteur de 100 mW sur 108,03 mégacycles. Batteries au mercure.
DISCOVERER IV (U.S.A.) Fusée comme Discoverer III.	25 juin 1959. Pas sur orbite.	Comme Discoverer II. Poids total : 771 kg. Charge utile : 136 kg.		Comme Discoverer II.
EXPLORER VI (U.S.A.) (U.S. Army) Fusée Juno II comme Pioneer III.	16 juillet 1959. Pas sur orbite.	Deux troncs de cône. Hauteur : 71 cm. Diamètre à la base : 76 cm. Poids total : 63,9 kg. Charge utile : 41,5 kg.		Émetteur de 650 mW sur 20 mégacycles ; émetteur de 15 mW sur 108 mégacycles. Batteries chimiques et solaires.
EXPLORER VI (U.S.A.) ★ (U.S. Air Force) Fusée Thor-Able III : 1 ^{er} étage : Thor ; 2 ^e étage : Vanguard modifié ; 3 ^e étage : X-248 à propergols solides. Poids au lancement : 47 620 kg.	7 août 1959. Encore sur orbite. Vie probable : plus de 1 an.	« Paddle Wheel », sphère munie de 4 ailes portant 8 000 cellules solaires. Diamètre : 66 cm. Poids total : 64,4 kg. Charge utile : 41,5 kg.	Inclinaison sur l'équateur : 46,9°. Période initiale : 12 h 30 mn. Périgée : 251 km. Apogée : 42 450 km.	Émetteurs de 500 mW sur 108,06 et 108,09 mégacycles ; émetteur sur U.H.F. ; 2 récepteurs. Batteries au cadmium-nickel rechargeables par les cellules solaires.
DISCOVERER V (U.S.A.) Fusée Thor-Agena.	13 août 1959 - 16 septembre 1959.	Comme Discoverer II. Poids total : 771 kg. Charge utile : 136 kg.	Orbite polaire. Période initiale : 94 mn. Périgée : 218 km. Apogée : 724 km.	Comme Discoverer II.
BEACON (U.S.A.) Fusée Juno II comme Pioneer III.	14 août 1959. Pas sur orbite.	Cylindre (hauteur 18 cm, diamètre 8,9 cm) contenant une sphère gonflable (diamètre 3,65 m). Poids total : 38,1 kg. Charge utile : 4,5 kg.		Émetteur de 50 mW sur 108,03 mégacycles. Batteries au mercure.
DISCOVERER VI (U.S.A.) Fusée Thor-Agena comme Discoverer V.	19 août 1959 - 16 septembre 1959.	Comme Discoverer IV. Poids total : 771 kg. Charge utile : 136 kg.	Orbite polaire. Période initiale : 95 mn. Périgée : 224 km. Apogée : 864 km.	Comme Discoverer II.

MISSION PRÉVUE	OBSERVATIONS
Étude de la couverture nuageuse par 2 cellules photoélectriques.	Image assez rudimentaire de la Terre au voisinage du péricée.
Études des transmissions radio. Essai de guidage et de stabilisation.	Dernier étage satellisé avec la charge utile. Échec de l'essai de stabilisation.
Étude des ceintures de radiations.	Stabilisation initiale par « spin » ralenti au bout de 10 h par libération de 2 masses de 7 g retenues par des fils. Passé à 60 000 km de la Lune. A été suivi jusqu'à 655 000 km.
Essai de stabilisation puis de récupération de la capsule ralentie par rétro-fusée. Étude des possibilités de vie dans l'espace par le dosage de l'oxygène et le réglage de la température dans la capsule.	Satellite stabilisé, capsule éjectée mais non récupérée. Le second étage entier a été satellisé.
Mesure du champ magnétique terrestre.	500 s de vol. Mauvais fonctionnement du 2 ^e étage.
Étude biologique sur souris plus essai de récupération.	Mauvais fonctionnement du 2 ^e étage.
Étude météorologique, bilan thermique de la terre.	Mauvais fonctionnement du 2 ^e étage.
Essai de récupération de la capsule.	Mauvais fonctionnement du 2 ^e étage.
Mesure des radiations: étude des rayons X, de la raie Alpha Lyman, des rayons cosmiques primaires, des micrométéorites et des températures internes.	Détruit après lancement par l'officier de sécurité.
Mesure des radiations. Étude de la propagation radio, du champ magnétique terrestre, des micrométéorites. Image télévisée des nuages. Essai de changement d'orbite.	Image très vague de la couverture nuageuse. Échec du changement d'orbite, la commande n'ayant pas fonctionné.
Comme Discoverer II.	Capsule éjectée mais non récupérée.
Comme Beacon I.	
Comme Discoverer II.	Capsule éjectée mais non récupérée.

Il avait eu pour mission spéciale de confirmer les constatations faites par Explorer I sur les radiations, mais ses compteurs, bien que renforcés, furent à nouveau saturés. Des compteurs plus perfectionnés furent mis au point pour les prochains Explorer.

La Marine ne restait cependant pas inactive. Des quatre « Pamplemousse » préparés, trois avaient été tirés, dont un seul avec succès, le dernier. On décida d'annuler le quatrième et de passer à la série suivante avec des satellites de 9,75 kg au lieu de 1,5 kg. Un premier lancement fut décidé pour le 24 avril. Les événements en décidèrent autrement, divers incidents obligeant à des « recyclages », une vidange des appareils, de nouveaux « count down », enfin à une révision complète de l'engin. La mise à feu n'eut lieu que le 28 avril pour se solder par un échec : le troisième étage ne s'était pas allumé par suite de l'hésitation d'un technicien chargé de prendre une décision en temps opportun.

Le satellite avait pour mission de détecter les rayons X émis par le soleil grâce à des chambres d'ionisation, et de mesurer les impacts météoritiques par l'érosion d'une cellule photo-résistante, la mise en œuvre de cellules photo-électriques au sulfate de calcium, l'utilisation de microphones enregistrant le bruit des impacts, enfin la mesure de la pression interne du satellite au cas où sa paroi serait percée.

Le plus gros et le plus complet des satellites

Le 15 mai 1958, un événement considérable devait faire oublier momentanément la rivalité entre l'Armée de terre et la Marine américaines. Les Russes, ignorant ce gaspillage des forces, venaient de lancer Spoutnik III : avec ses 1 326 kg, dont 968 kg d'appareils, ce troisième satellite soviétique était démesurément plus lourd que les engins américains. Il pesait plus du double de Spoutnik II dont le poids passait déjà pour considérable.

La fusée porteuse d'environ 2 tonnes fut elle-même mise sur orbite (ainsi que le cône protecteur antérieur séparé en trois morceaux) et l'observation de son mouvement apporta elle aussi des renseignements précieux.

Comme précédemment les savants russes avaient fait preuve d'une rare maîtrise en laissant prévoir ce nouveau satellite qui, avec sa cargaison d'instruments physiques, est le plus complet qui ait jamais été lancé jusqu'ici. Il comportait un magnétomètre de 12 kg et jusqu'à un spectrographe de masse. Ses missions furent extrêmement nombreuses : étude de la pression et de la composition de l'atmosphère, mesure de la concentration en ions positifs, de

Les lancements de satellites (suite)

ENGIN, FUSÉE	DATE DE LANCEMENT DURÉE	CARACTÉRISTIQUES SATELLITE	CARACTÉRISTIQUES ORBITE	ÉQUIPEMENT RADIO
LUNIK II (U.R.S.S.) Probablement fusée à 4 étages : 1 ^{er} étage : à hydrogène et oxygène liquides ; 2 ^e , 3 ^e et 4 ^e étages : à pro- pergols liquides classiques. Poids au lancement : 160 t.	12 septembre 1959 - 13 septembre 1959.	Sphère vraisemblablement identique à Lunik I.	Tir à la Lune, coup au but.	Émetteurs de la sphère sur 183,6, 39,986 et 19,993 mégacycles. Dans le corps de la fusée, émetteurs sur 20,003 et 19,997 mégacycles.
TRANSIT I (U.S.A.) Fusée Thor-Able III.	17 septembre 1959. Pas sur orbite.	Sphère Diamètre : 91,44 cm. Charge utile : 120 kg.		Émetteurs de 100 mW sur 54, 162 et 216 mégacycles ; 2 batteries argen- tine, 2 batteries cadmium-nickel.
VANGUARD III (U.S.A.) * (S.L.V. 7) Fusée à 3 étages : 1 ^{er} étage : General Electric à pro- pergols liquides ; 2 ^e étage : Aerojet à propergols li- quides ; 3 ^e étage : A.B.L. à propergols solides. Poids au lancement : 10 251 kg.	18 septembre 1959. Encore sur orbite. Vie probable : 30 à 40 ans.	Sphère polie comme Van- guard II. Diamètre : 51 cm. Poids total : 45 kg (avec le 3 ^e étage resté solidaire). Charge utile : 22,5 kg.	Période initiale : 130 mn. Périgée : 510 km. Apogée : 3 700 km.	Émetteur de 30 mW sur 108 méga- cycles, émetteur de 80 mW sur 108,03 mégacycles. Batteries chi- miques. Fin des émissions le 11 déc. 1959.
LUNIK III (U.R.S.S.) * Probablement fusée à 3 étages.	4 octobre 1959. Encore sur orbite. Vie probable : 6 mois.	Cylindre plus deux troncs de cône. Hauteur : 1,30 m. Diamètre : 1,20 m. Poids total : 1 550 kg. Charge utile : 435 kg.	Période initiale : 15,3 jours. Périgée : 48 280 km. Apogée : 468 300 km.	3 émetteurs sur 183,6, 39,986 et 2 500 mégacycles. Batteries solaires alimentant tous les appareils de bord et batteries chimiques.
EXPLORER VII (U.S.A.) * Fusée Juno II comme Pioneer III.	13 octobre 1959. Encore sur orbite. Vie : probable 20 ans.	Cylindre plus deux troncs de cône, forme rappelant celle de Lunik III. Hauteur totale : 71 cm. Diamètre : 76 cm. Charge utile : 41,5 kg.	Inclinaison sur l'équateur : 50°. Période initiale : 1 h 41 mn. Périgée : 549 km. Apogée : 1 092 km.	Émetteur sur 20 mégacycles ali- menté par batteries solaires ; émet- teur sur 108 mégacycles alimenté par batteries chimiques. Actuellement n'émet plus.
DISCOVERER VII (U.S.A.) Fusée comme Discoverer III.	7 novembre 1959. Vie environ : 20 jours.	Comme Discoverer II. Poids total : 771 kg. Charge utile : 136 kg.	Orbite polaire. Période initiale : 95 mn. Périgée : 165 km. Apogée : 885 km.	Comme Discoverer II.
DISCOVERER VIII (U.S.A.) * Fusée comme Discoverer III.	20 novembre 1959. Encore sur orbite. Vie probable : 2 mois.	Comme Discoverer II. Poids total : 771 kg. Charge utile : 136 kg.	Orbite polaire. Période initiale : 103 mn. Périgée : 193 km. Apogée : 1 609 km.	Comme Discoverer II.
PIONEER V (U.S.A.) Fusée Atlas-Able. Poids au lancement : 118 t.	26 novembre 1959. Pas sur orbite.	Analogue à « Paddle Wheel » d'Explorer IV ; sphère. Diamètre : 99 cm. Poids total : 167 kg. Charge utile : 104 kg.	Tir à la Lune raté.	Batterie de 8 800 cellules solaires. Récepteur V.L.H. sur 15 kilocycles pour étude du bruit de l'espace.
DISCOVERER IX (U.S.A.) Fusée Thor-Agena	4 février 1960 Pas sur orbite	Comme Discoverer II. Poids total : 771 kg. Charge utile : 136 kg.		Comme Discoverer II.

la charge électrique du satellite, du champ magnétique terrestre, des radiations solaires, des impacts de micrométéorites, étude du rayonnement cosmique, etc... Véritable laboratoire volant promis à une vie plus que centenaire avec tous ses détecteurs, ses enregistreurs et son calculateur électronique, il fut considéré par beaucoup comme la première réalisation tangible vers l'envol cosmique de l'homme.

Devant ce succès, les Américains ne purent opposer que deux nouveaux échecs successifs des Vanguard. Le premier rata de très peu, une mauvaise orientation du troisième étage faisant décrire au satellite un arc d'ellipse d'environ 10 000 km avec un apogée de 3 200 km, volatilissant à sa rentrée l'appareillage conçu pour l'étude de la raie Lyman α émise par l'hydrogène et que l'on trouve dans le spectre

ultraviolet. Le second alla moins loin, son deuxième étage ne s'étant pas allumé. Il emportait un appareillage qui devait, non plus étudier la raie α de Lyman, mais les rayons X émis directement par le Soleil, ceux-ci ayant été considérés comme les principaux responsables du fading accompagnant les éruptions solaires.

Explorer IV, satellite radiations

Trente jours plus tard exactement, le 26 juillet, l'Explorer IV effaçait ces échecs en partant de la base de Cap Canaveral, après un « count down » relativement court et après que les deux derniers étages eurent été mis en rotation pour la stabilisation du satellite par « spin ». Les six fusées des deux derniers éta-

MISSION PRÉVUE	OBSERVATIONS
Mesure des températures et pressions internes. Étude du champ magnétique terrestre et lunaire, des météorites, des rayons cosmiques.	Est tombé sur la Lune vers la Mer de la Sérénité après avoir indiqué qu'il n'y avait pas de champ magnétique sur la Lune.
Étude des rayons X et solaires, du champ magnétique.	Le 3 ^e étage n'a pas fonctionné. Sert actuellement de satellite purement passif.
Photographie de la face inconnue de la Lune grâce à 2 caméras de 200 et 500 mm de distance focale et retransmission genre bélinographe.	Photographies prises à 60 000 km de la Lune, le 7 octobre vers 13 h 30.
Mission météorologique. Étude des particules cosmiques primaires lourdes, des radiations, de la raie Alpha Lyman, des micrométéorites.	
Essai de récupération après 17 tours.	Mauvaise stabilisation sur l'orbite, capsule non séparée du satellite.
Essai de récupération après 15 tours.	Capsule éjectée mais non récupérée sans doute par mauvais fonctionnement du parachute.
Mesure des températures, des radiations (compteurs à haute énergie pour éviter la saturation). Étude du champ magnétique, des nuages de plasma, des effets solaires, des météorites. Image de la Lune.	Devait orbiter autour de la Lune. Échec par chute prématurée du carénage en fibre de verre.
Essai de récupération de la capsule.	Vitesse insuffisante du 2 ^e étage.

ges (au lieu de 5 pour Explorer I) avaient été renforcées. D'autre part, l'inclinaison de l'orbite sur l'équateur avait été choisie aux approches de 50° (au lieu de 34° pour tous les engins précédents) afin d'élargir le champ d'études des radiations.

Bien décidés à connaître le fin mot de l'histoire sur l'intensité des radiations, les techniciens avaient doté Explorer IV de deux compteurs de Geiger, l'un protégé d'une lame de plomb, l'ensemble étant de 1 000 et 5 000 fois plus puissant que pour Explorer I et II. Deux compteurs à scintillations devaient, l'un mesurer l'énergie totale des particules, l'autre les compter. Ce fut l'ensemble le mieux étudié pour l'étude des radiations. L'existence d'un anneau de radiations au-delà de 400 km fut confirmé d'une façon définitive.

Explorer V fut moins heureux, son injection sur l'orbite ayant été mal orientée. Il devait renseigner sur la nature et l'énergie des particules responsables de l'anneau de radiations découvert.

Cet échec fut suivi d'un autre pour la Marine américaine qui ne réussit pas à mettre sur orbite son premier « œil météo » destiné à l'étude des couches nuageuses. Ayant parcouru une orbite complète, il se désintégra à sa rentrée dans les couches denses de l'air.

Les premiers tirs à la Lune

Avant Explorer V, une nouvelle série de satellites avait fait son apparition aux U.S.A., la série des « Pioneer » destinés sinon à aller dans la Lune, du moins à monter suffisamment haut pour permettre une étude en profondeur des ceintures de radiations. Pioneer 0 prit son envol le 17 août 1958. La fusée porteuse était une Thor-Able de l'Armée de l'Air à 4 étages, capable de satelliser une masse totale de 38 kg. Le premier étage ayant mal fonctionné, la durée de vol ne fut que de 77 secondes.

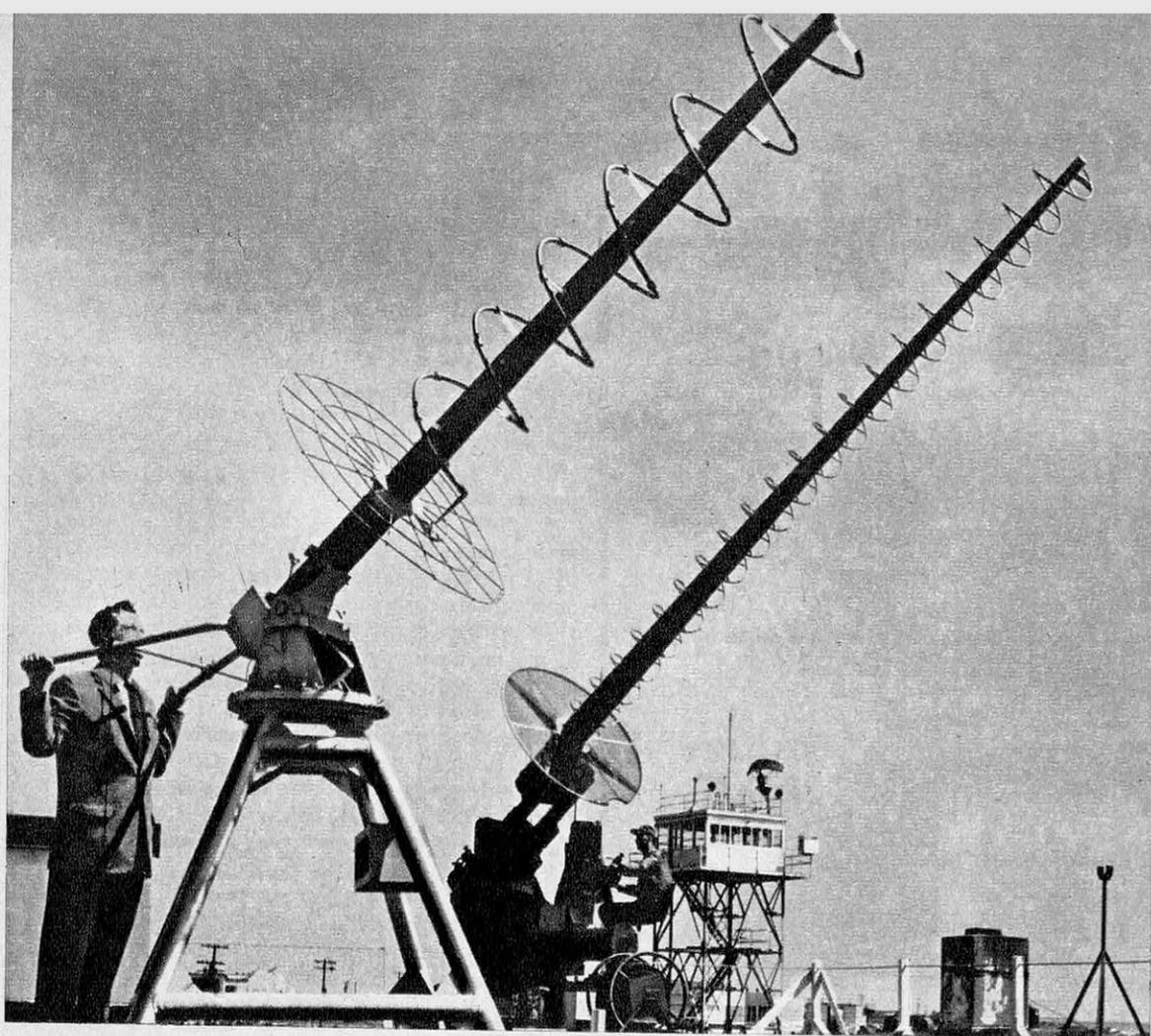
Pioneer I et III, lancés les 11 octobre et 6 décembre 1958, furent plus heureux. Sans arriver dans les parages de la Lune, ils atteignirent des altitudes de 114 000 et 102 000 km, permettant de déceler une seconde ceinture de radiations au-delà de la première découverte par les Explorer. Pioneer II qui, le 8 novembre, avait pris mal son départ fut détruit volontairement à 1 500 km du sol par télécommande.

Entre Pioneer I et II se situe un lancement de satellite purement passif baptisé Beacon. Ce lancement, qui eut lieu le 23 octobre 1958, ne réussit pas à placer sur orbite la sphère gonflable, en plastique recouvert d'aluminium, de 3,60 m de diamètre.

La réussite du Score lancé le 18 décembre 1958 par une fusée Atlas clôturait en beauté la série américaine pour l'année 1958. Elle démontrait que les spécialistes U.S.A. possédaient enfin une fusée capable de satelliser une masse de 100 à 200 kg. En réalité, toute la fusée, soit près de 4 tonnes, fut satellisée. Tout le monde était radieux et le président Eisenhower put envoyer au monde son message de paix préalablement enregistré.

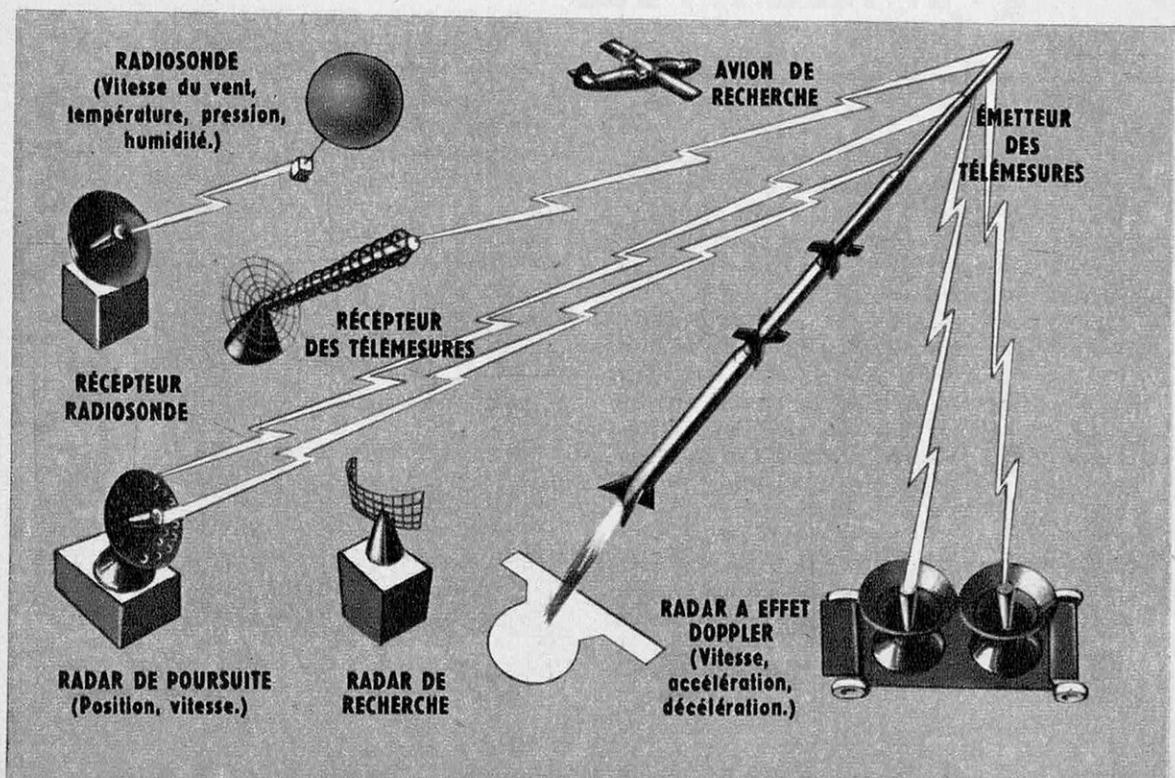
1959 débute mal pour les U.S.A.

Le 2 janvier 1959, personne ne riait plus. Les Russes avaient repris l'offensive. Lunik I avait frôlé la Lune à près de 6 500 km et était allé se satelliser autour du soleil en devenant Mechta, « la planète de rêve ». D'un poids de 361 kg, Lunik I était, comme d'habitude, bourré d'instruments dont un magnétomètre qui



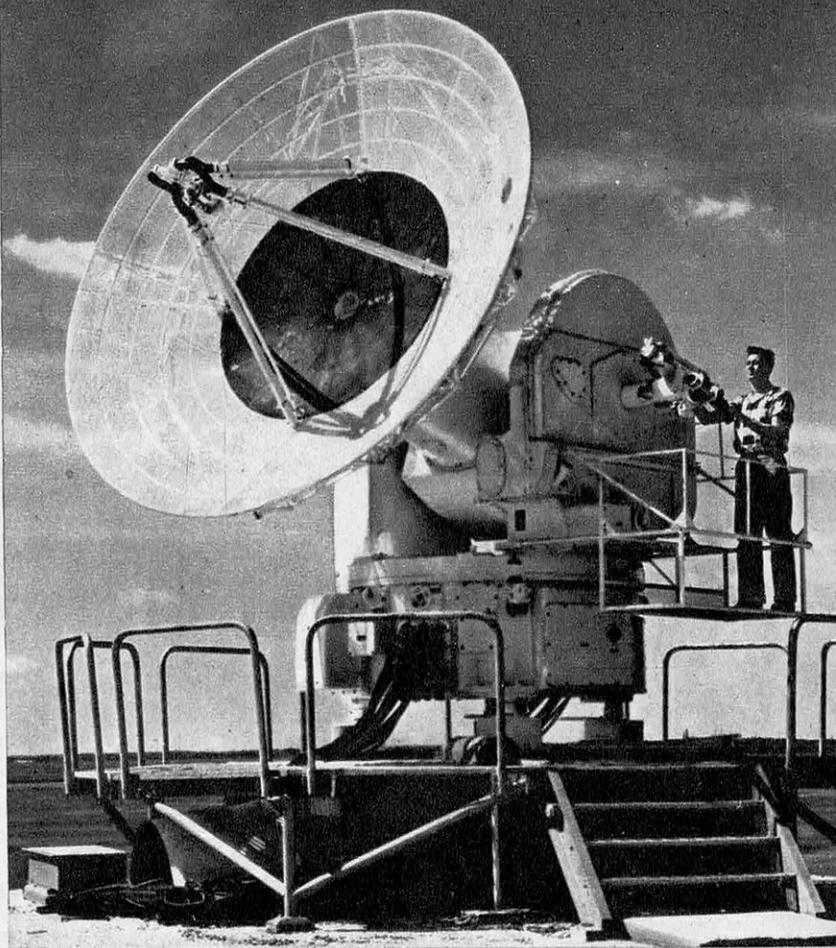
(Photo USIS)

Les récepteurs de télémétrie captant les émissions des engins spatiaux.



Organisation d'une base de lancement

Le dessin ci-dessous donne le schéma des dispositifs utilisés pour le lancement des fusées du programme Vanguard. Cette base établie à Cap Canaveral fut l'une des premières aux U.S.A. Par la suite, les bases de Vandenberg en Californie et de Wallops Island furent créées. Mais à côté de la partie strictement technique, dont tous les aspects sont loin d'être représentés ici (réservoirs de stockage des propulseurs, système de refroidissement des aires de lancement, etc.), de telles bases nécessitent la création de véritables cités de dizaines de milliers d'habitants avec tout leur système de ravitaillement. On conçoit que, dans ces conditions, il soit assez difficile d'improviser et que les délais de mise en place puissent se chiffrer par plusieurs années.



Un radar de poursuite pour la localisation des satellites.

ne put, malgré sa sensibilité, déceler de champ magnétique autour de la Lune, la distance de 6 500 km étant trop considérable pour lui. Lunik I poursuit toujours sa ronde de 477 jours autour du Soleil, s'en approchant au maximum de 147 millions de kilomètres (périhélie) et s'en éloignant de 198 millions de km (aphélie).

Pioneer IV fut, le 3 mars 1959, une heureuse réplique américaine, mais qui n'avait au départ presque aucune chance de rencontrer la Lune tant l'imprécision du tir était grande. Il se satellisa lui aussi autour du Soleil en passant à près de 60 000 km de la Lune. Il put cependant confirmer l'existence des deux ceintures de radiations.

Pendant ce temps, Vanguard et Explorer continuaient leurs essais de satellisation. Les premiers enregistraient deux échecs et deux succès, Vanguard III clôturant cette série un peu bousculée au départ et assez décevante

dans l'ensemble. Les Explorer marquaient deux succès et un raté au départ, Explorer VI ayant eu comme Vanguard II une mission météo et Explorer VII reprenant la mission d'étude de la fameuse raie Lyman α qui n'avait pu réussir avec un Vanguard.

Stabilisation et essais de récupération

Depuis le 28 février 1959, les Américains avaient entamé une nouvelle série de lancements à leur nouvelle base de Vandenberg en Californie, la série des « Discoverer ».

Jusque-là, contrairement aux Russes qui, depuis mars 1958, avaient réussi une stabilisation totale, ils se contentaient d'une stabilisation par « spin », autrement dit par rotation du satellite sur lui-même. La seule amélioration qu'ils y avaient apportée fut le ralentissement de cette rotation par la libération de

deux masses reliées au satellite par de longs fils, essai réussi sur Pioneer IV.

La fusée porteuse était une Thor-Hustler (avec comme propulseur du 2^e étage un moteur fusée à propergols liquides mis au point par la société Bell et destiné à l'origine au Convair Hustler) qui devint par la suite une Thor-Agena. Autre nouveauté, les satellites étaient lancés suivant une orbite Nord-Sud et pesaient déjà avec Discoverer I le poids appréciable de 589 kg.

Pour maintenir le satellite horizontal, l'engin était doté d'un viseur infrarouge pointé sur la ligne d'horizon et déclenchant une éjection d'hélium dans le sens voulu pour rattraper tout écart. Cette stabilisation ne fut réussie qu'avec Discoverer II; Explorer VI bénéficia de cette technique. Discoverer II servit en même temps à une toute nouvelle expérience: essai de récupération d'une capsule spatiale décrochée de son orbite par rétro-fusée. Cette expérience délicate n'aboutit pas, malgré le concours de toute une flottille d'avions et de navires. Il en fut de même pour les capsules des Discoverer V, VI, VII et VIII, les Discoverer III et IV n'ayant pas été placés sur leur orbite ainsi que le Discoverer IX.

En dehors de cette mission spectaculaire, les Discoverer prirent la relève de Vanguard III comme satellites météo, étant chargés en particulier de déterminer le pouvoir réfléchissant de la Terre. Pour cette raison, les Discoverer furent placés sur une orbite aussi circulaire que possible et la séparation de la capsule ne fut commandée qu'après que le satellite eût rempli sa mission en bouclant un certain nombre de tours sur son orbite.

Pour être complet avec les lancements américains, nous devons mentionner un nouvel essai de lancement de satellite gonflable Beacon qui échoua le 14 août 1959, et le lancement d'un Transit I qui ne réussit pas à placer sur orbite son satellite de 120 kg de charge utile.

Coup au but pour les Russes

Dans cette immense partie d'échecs, les Russes semblent avancer leurs pions avec beaucoup plus de maîtrise et d'assurance que les Américains et leurs deux derniers coups, à moins d'un mois d'intervalle, semblent bien avoir mis les Américains en position défavorable. Le 12 septembre 1959, c'était le coup au but avec Lunik II. Il apportait en même temps une information capitale: il n'y a pas de champ magnétique sur la Lune.

Le 4 octobre, Lunik III affirmait la maîtrise des astronautes russes par la précision de ses évolutions et en nous donnant la première photographie de la face inconnue de la Lune.

L'épreuve du «count down»

LE «count-down», qui durait 11 heures au minimum avec la série Vanguard et 8 heures avec les Explorer, a été ramené à 15 minutes à la base de Vandenberg grâce à l'utilisation d'une machine électronique. C'est en fait la nomenclature de toutes les opérations et vérifications à effectuer avant le départ. Un seul incident, même à quelques secondes du temps 0, et c'est un nouveau «count down» qu'il faut reprendre. Certains Vanguard ont nécessité près d'une dizaine de recyclages. On comprend aisément l'énerverment du personnel lorsqu'après la huitième opération on s'aperçoit qu'il faut vidanger totalement les réservoirs à oxygène, les vannes prises par le froid ne fonctionnant plus. Ci-contre un «count down» à Cap Canaveral.

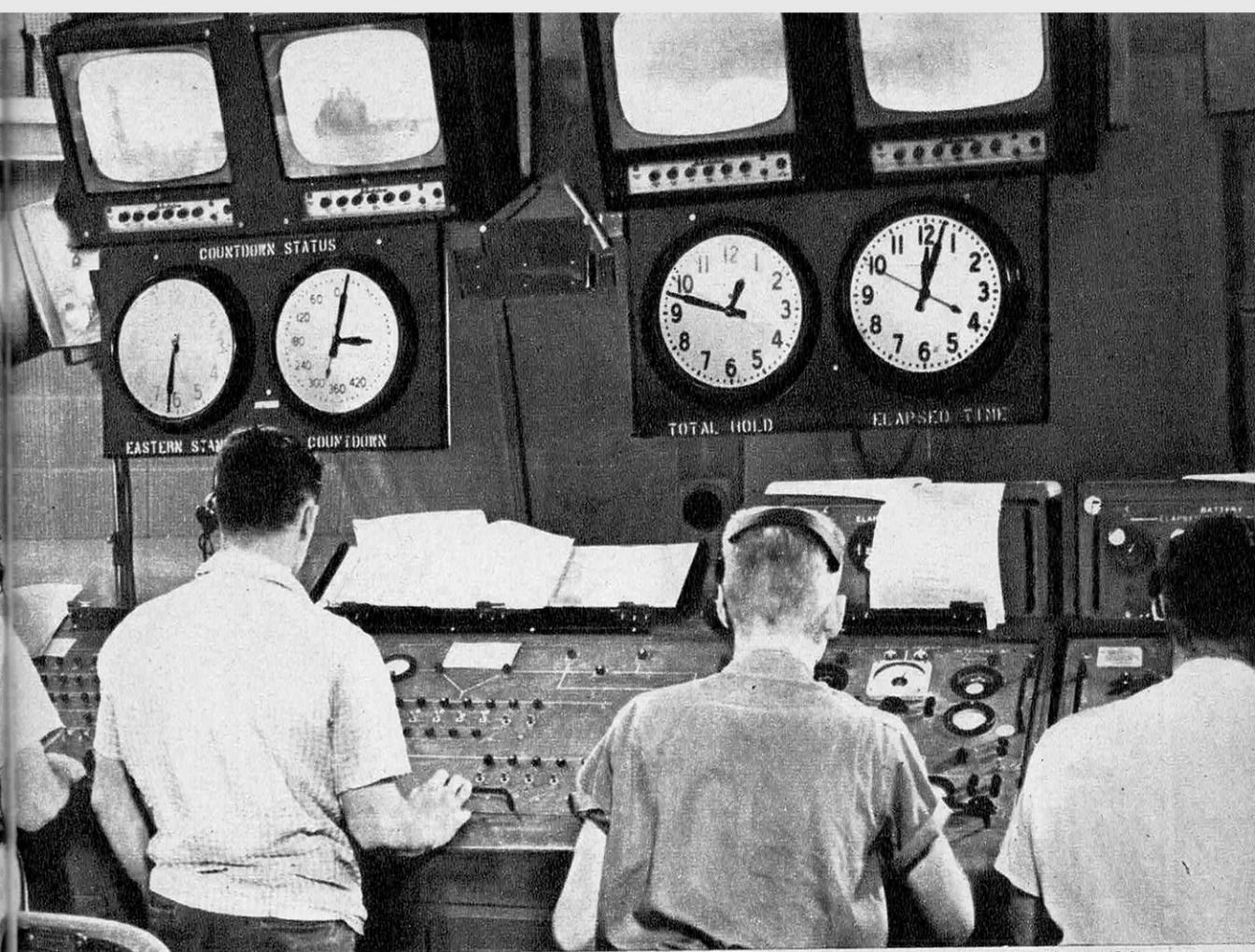


Le 26 novembre, les Américains tentèrent de répliquer avec leur Pioneer V de 167 kg qui devait orbiter autour de la Lune: la chance fut une nouvelle fois contre eux, l'injection sur l'orbite fut défectueuse. L'année 1959 s'achevait moins brillamment que 1958.

L'ère cosmique démarre en trombe

Les découvertes se font à une telle cadence que l'on n'a même plus le temps de s'étonner. L'ère de l'électronique devait détrôner toutes les autres, puis ce fut l'ère atomique, nous voici dans l'ère cosmique.

Il est vain, croyons-nous, de nous demander quelle est celle qui marquera le plus dans la mémoire des hommes. Elle se complèteront vraisemblablement les unes les autres, les deux premières servant la dernière qui le leur rend déjà par les découvertes qu'elle a permises. Ce qui est essentiel et assez extraordinaire, c'est de constater avec quel élan cette ère nouvelle a démarré: le calendrier des lan-



(Photo USIS)

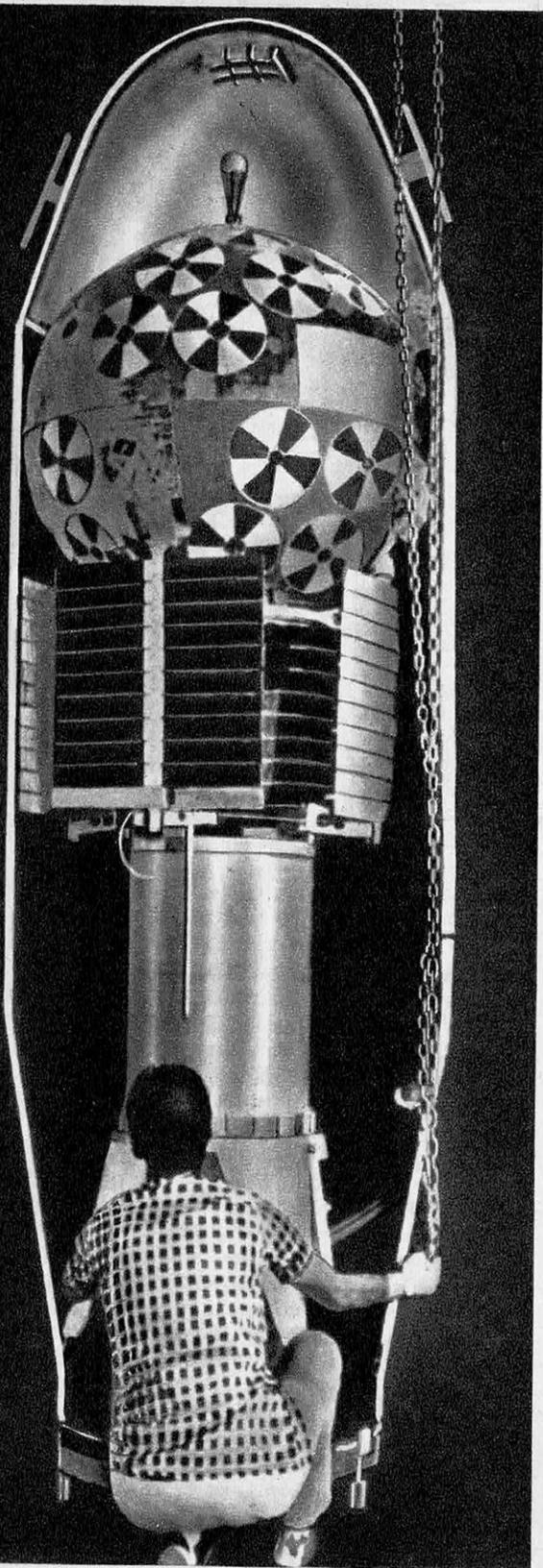
cements donné dans cet article permet de s'en rendre compte. Personne n'aurait imaginé un tel feu d'artifice.

En un peu plus de deux ans, nous comptons 24 réussites. En charge utile, c'est plus de 4 tonnes d'appareils de toutes sortes qui ont été envoyés dans l'espace interplanétaire. En poids total placé sur orbite, en comptant les derniers étages et les cônes, on doit arriver dans les 18 tonnes, ce qui représente approximativement un train de 36 « 2 CV ». En poids de fusée au départ, on ne doit pas être loin des 2 500 tonnes, à peu près partagés entre les Russes et les Américains (1 100 à 1 200 tonnes pour les uns, 1 300 à 1 400 tonnes pour les autres).

En dehors de ces deux chiffres globaux, un fait saute aux yeux : la disproportion du nombre des essais russes et américains, même en supposant quelques échecs non avoués en U.R.S.S. Il faut y voir à la base une conception totalement différente des programmes, les Russes ayant préféré confier de nombreuses

missions à un même satellite alors que les techniciens d'outre-Atlantique ont choisi le fractionnement des missions géodésiques ou géophysiques. Leurs satellites n'avaient été à l'origine conçus que dans ce but, et c'est ce qui explique leur faible poids.

Les multiples échecs américains trouvent leur explication dans le fait qu'ils ont travaillé constamment à la limite du possible, presque sans aucune marge de sécurité, avec des ensembles miniaturisés à l'extrême, alors que leurs concurrents heureux, disposant au départ de fusées beaucoup plus puissantes, pouvaient se payer le luxe d'employer des appareils beaucoup plus robustes. Il semble aussi qu'ils aient fait de nombreux essais préliminaires avec simples fusées d'altitude au lieu d'opérer directement en vraie grandeur avec des satellites. Nous voulons parler, entre autres, des expériences de stabilisation dont la réussite, annoncée en mars 1958, étonna les spécialistes américains.



Pioneer V au départ, ailes repliées

On a parlé de carburant-miracle. Certes Russes et Américains travaillent à augmenter le rendement propulsif de leurs carburants, mais il n'y a rien de mystérieux en chimie. Les carburants utilisés de part et d'autre sont tous des propergols bien connus et les rapports de masse, rapports de la masse satellisée à celle de la fusée au départ, sont sensiblement les mêmes, mais là où les Américains employaient des fusées de 10 et 50 tonnes, les Russes disposaient de fusées de 250 tonnes et plus. Ce n'est qu'avec le Score que les Américains disposèrent d'une fusée de plus de 100 tonnes.

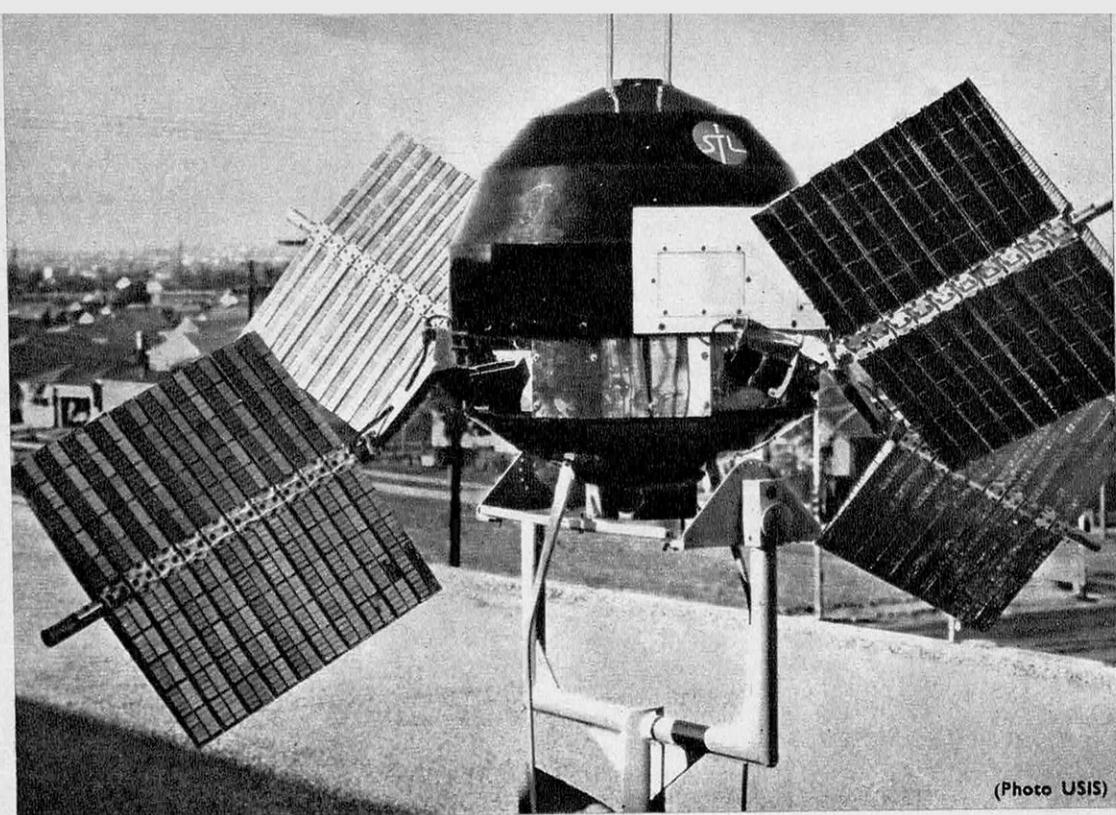
Grande marge de sécurité, stabilisation, les Russes possédaient tous les atouts pour accroître la précision de leurs tirs, précision démontrée avec Lunik II et Lunik III. La qualité d'exécution de ce programme était liée à une progression constante des possibilités, chaque satellite frayant en quelque sorte le chemin aux suivants.

Tous les Spoutnik furent lancés sur la même orbite avec approximativement les mêmes caractéristiques. Ils furent tous à la fois géodésiques et atmosphériques et jamais purement géodésiques comme Vanguard I dont le périégée, à plus de 500 km, évite les couches atmosphériques denses. Leurs périégées de 200 à 230 km convenaient excellemment à leur programme astronautique. Et si Spoutnik II ne suivit pas, par son caractère biologique nettement prononcé, les traces de son prédécesseur, Spoutnik III est en somme l'ultime perfectionnement de Spoutnik I.

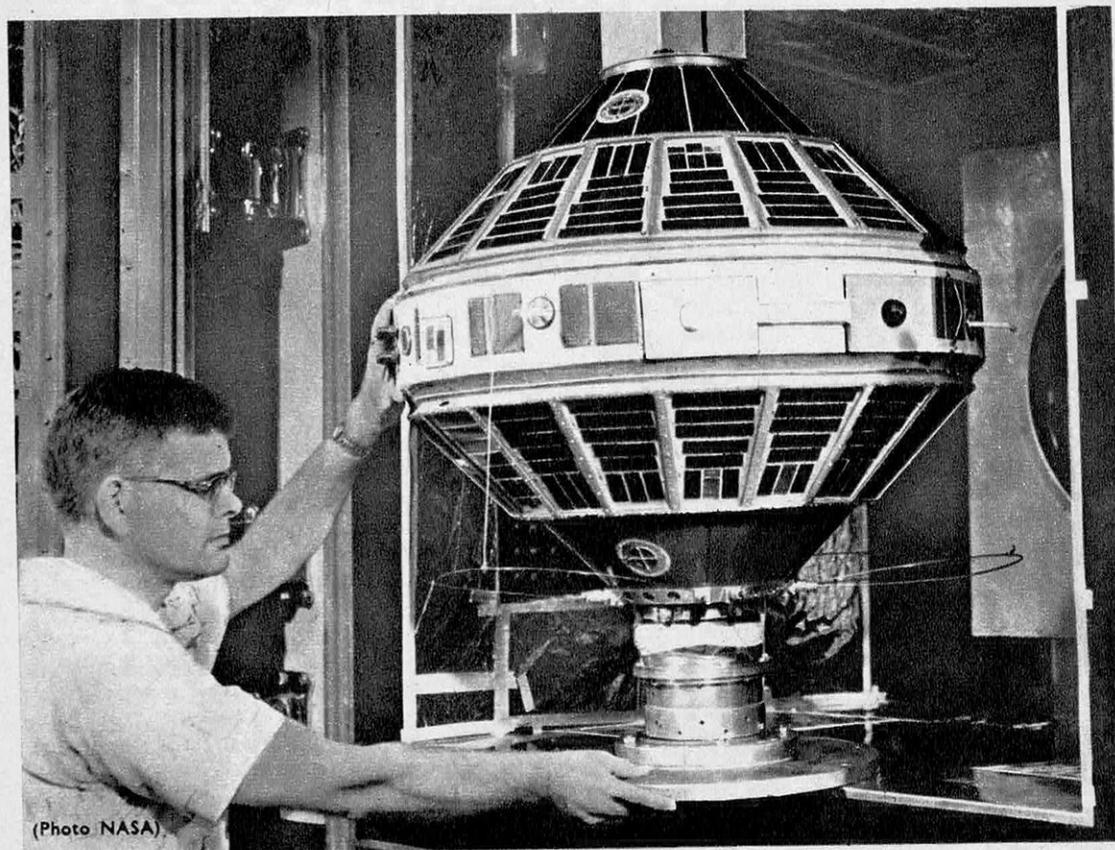
Grande précision du guidage

On retrouve le même processus avec la série des Lunik. S'il n'y a pas de mystère autour de la puissance propulsive (déterminée par l'emploi de propergols à haute énergie, sans doute de l'oxygène et de l'hydrogène liquides dont les Américains commencent à faire usage), le problème du guidage paraît avoir été résolu de la même façon. Des fusées-verniers permettaient les fines corrections de trajectoire dont le tracé idéal avait pu être déterminé grâce aux observations de Lunik I. En pleine connaissance des vitesses précises que Lunik II devait avoir en différents points bien déterminés, des émetteurs ou répondeurs radar permettaient de préciser la position du projectile (ainsi que sa vitesse par effet Doppler), une calculatrice électronique mettait sans cesse à jour la trajectoire suivie et, à partir de ces résultats, le cerveau électronique déterminait les corrections à faire. Il ne restait plus qu'à transmettre les ordres convenables aux divers systèmes propulseurs.

Lunik III fut une répétition de Lunik II quant à la précision, le voisinage de la Lune



Explorer VI, prototype de Pioneer V, a ici ses ailes à cellules solaires dépliées



Explorer VII, le plus récent des satellites U.S., s'apparente un peu à Lunik II

étant cette fois pris pour cible. C'était aussi une répétition des techniques de stabilisation, précédemment acquises. Les appareils de prise de vue eux-mêmes sont classiques mais la précision des commandes radio à des distances de plus de 460 000 km, fut exceptionnelle.

Demain, à qui l'avantage ?

Beaucoup pensent que l'avance russe est considérable et que les Américains sont désormais condamnés à leur emboîter le pas. Nous ne sommes pas prophètes, mais un avantage quel qu'il soit n'est jamais éternel.

Nous avons vu au cours de ce raccourci historique avec quelle souplesse les équipements électroniques avaient été adaptés aux missions les plus diverses. Le matériau « fusée » ne pouvait pas se prêter à la même docilité : les essais sont longs et multiples. Mais qui dit « fusée » dit aussi aires de lancement et ce sont de véritables villes qu'il faut créer de toutes pièces pour le personnel, de véritables usines desservies par des torrents d'eau (nécessaire au refroidissement) qu'il faut faire surgir du sol. Tout cela ne peut se créer en un jour.

Après Cap Canaveral, seule base de lancement en 1958, les Américains ont créé celles de Vandenberg en Californie, de l'île Wallops près de la Virginie. Ils envisagent d'en bâtir une dans l'île de Manos, au sud de l'Équateur. Côté fusées, les « Titans » de plus de 100 tonnes sont prêts, les « Saturne » de 526 tonnes le seront prochainement, les « Nova » de 2 040 tonnes sont envisagées pour 1963. Côté progrès technique, les Américains affirmaient en mai 1959 pouvoir descendre le « count down » des lancements à 15 minutes, au lieu de 11 et 8 heures minimum pour les Vanguard et Explorer, en faisant diriger les opérations par une machine électronique. Quant aux supercarburants, chimiques, ioniques ou atomiques, il est vraisemblable que tous les techniciens sont sur les mêmes pistes.

Pratiquement, le facteur le plus important fut ici comme ailleurs la foi. Les Russes ont cru à l'astronautique avant les Américains, ils tiennent donc la corde, mais pour combien de temps ?

On voit d'ailleurs se dessiner une collaboration internationale. Si les dernières nouvelles sont exactes, après avoir proposé leurs bases de repérage aux Russes, les Américains viendraient de proposer aux Occidentaux une collaboration encore plus étroite dans le domaine spatial. On ne peut que souhaiter une telle entente, mais nous irons encore plus loin, quitte à passer pour des optimistes à tous crins : il ne peut en être autrement.

La véritable conquête de l'espace requiert

Un satellite de 30 mètres de diamètre →

Ce sera le satellite du projet ECHO lancé de Cap Canaveral sur une orbite inclinée de 50° sur l'équateur terrestre, de forme presque circulaire, avec une durée de révolution voisine de 2 heures. La sphère en matière plastique extra-mince et aluminisée sera gonflée par la dilatation de l'air résiduel et la vaporisation de 1,8 kg d'eau. Elle réfléchira à 98% la lumière, et les ondes radio ultracourtes. Les premiers essais ont débuté le 18 janvier 1960 par un lancement à une altitude de 400 km à l'île Wallops.

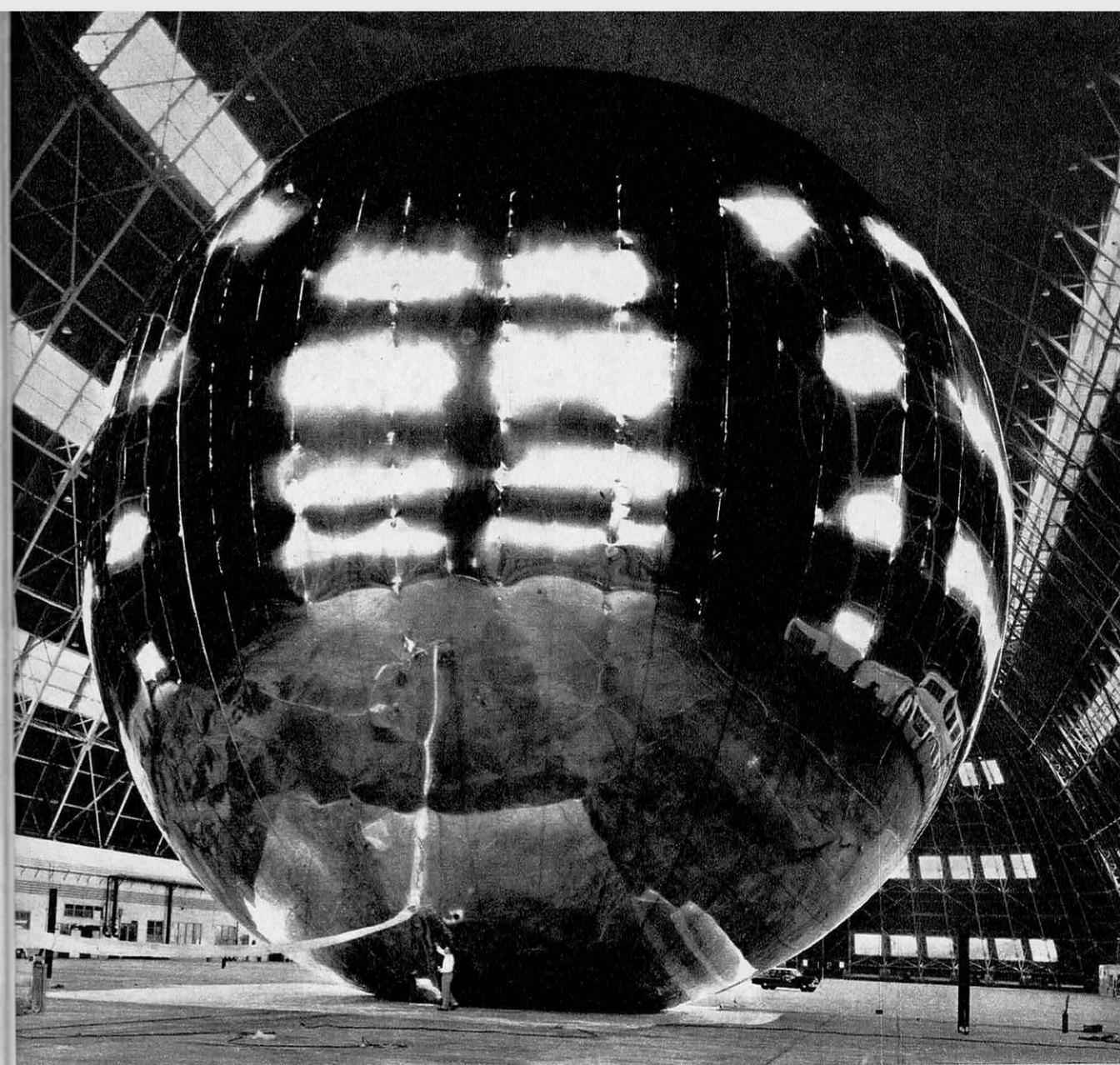
une telle somme d'énergie qu'elle ne peut aboutir qu'avec le concours de tous. Saluons ceux qui ont défriché le chemin, mais il nous est permis de penser que tôt ou tard, Occidentaux et Orientaux seront inéluctablement réunis pour la plus merveilleuse conquête de l'homme.

Le proche avenir

Si l'on en croit M. Hugh Dryden, directeur adjoint de la N.A.S.A., le programme américain pour les dix prochaines années ne comporterait pas moins de 261 lancements. Parmi les noms de projets qui reviennent le plus souvent dans les communiqués de presse nous trouvons :

Le projet Echo, réflecteur passif constitué par une sphère aluminisée de 30 m de diamètre qui doit être placée sur une orbite circulaire à 150 km d'altitude, dans un plan faisant un angle de 50° avec le plan équatorial. Ce ballon destiné aux liaisons radioélectriques emportera peut-être deux émetteurs sur 107,94 Mc et 107,97 Mc. Le 3^e étage de la fusée porteuse emportera en tout cas un émetteur sur 108 Mc pour aider à la localisation de la sphère lors de sa mise sur orbite. Ce projet prévu pour le début du printemps 1960 est en cours : plusieurs tirs d'essai avec gonflage de la sphère à haute altitude ont déjà été exécutés.

Le projet Mercury est lui aussi dans une phase active ; plusieurs lancements de capsule ont été effectués et, récemment, les singes rhésus « Sam » et « Miss Sam » ont été envoyés à des altitudes de 30 840 et 15 000 mètres et récupérés avec succès. Les systèmes d'éjection normale de la capsule du dernier étage, ainsi que d'éjection de secours en cas de mauvais fonctionnement au départ, semblent être au point. De nombreuses études sont d'autre part menées sur l'adaptation des futurs astronautes aux voyages dans l'espace. Prévu initialement pour 1961, il pourrait se faire que le premier voyage spatial humain à bord d'une capsule Mercury se fasse plus tôt.



(Photo NASA)

Les autres projets américains semblent beaucoup moins avancés; ce sont *Tiros I* et *II* avec mission météorologique, six satellites atmosphériques avec mission d'étude des ceintures de radiations, de l'ionosphère, etc., trois vols spatiaux dont deux autour du Soleil, pour étude des radiocommunications, des champs magnétiques, etc. Viennent ensuite les projets *Dyna Soar* de rentrée avec véhicule planeur, *Orion* avec propulsion nucléaire. Côté militaire on doit aussi noter les projets *Samos*, satellite de reconnaissance, et *Midas*, satellite de surveillance et d'alerte en cas d'attaque par fusées.

Les Russes sont beaucoup plus discrets et à part l'annonce de leur superfusée, dont une a déjà été lancée dans le Pacifique, et qui devrait servir à des vols spatiaux vers la Lune ou Mars, on ne sait pas grand chose, sinon que l'on doit s'attendre de leur part à des performances dignes de leurs premiers succès.

La période actuelle peut donc être considérée comme une période de gestation et le temps n'est sans doute plus très loin où la course à l'espace va reprendre de plus belle.

A.C. GIRARD
Luc FELLOT

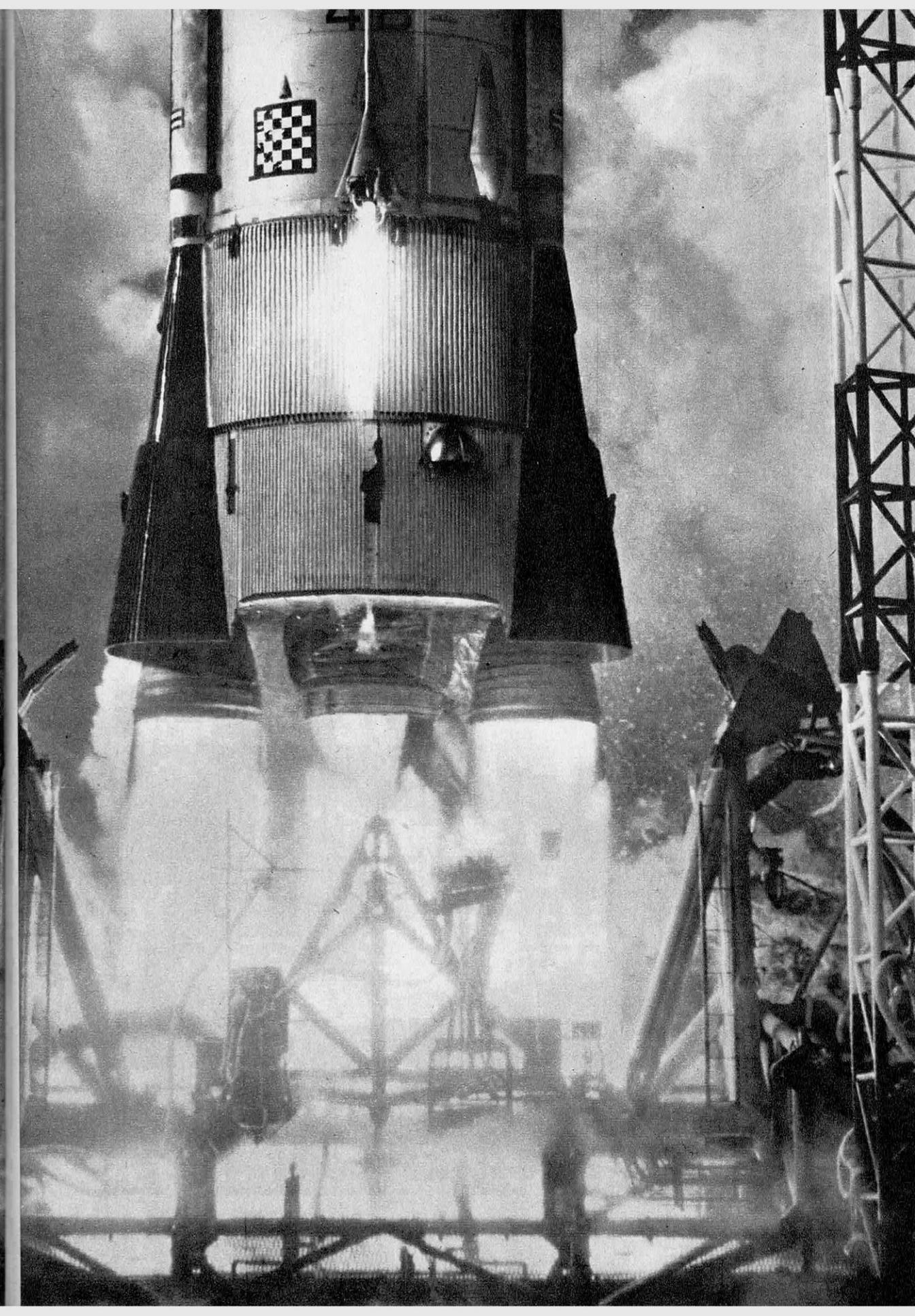
Les futures étapes de LA PROPULSION DES ASTRONEFS

AUSSI bien en U.R.S.S. qu'aux États-Unis, le seul progrès véritable en combustibles pour moteurs-fusées, de la V2 de 1944 aux plus récents des engins balistiques ou des véhicules spatiaux de 1960, a été le remplacement de l'alcool par le kérosène. On en est certain pour les États-Unis, qui ne cachent pas plus leurs succès et leurs échecs que les principes et les détails de leur technique. Mais les résultats soviétiques ne supposent nullement quelque avance sensationnelle en combustibles et « comburants », ni même, en dehors de la poussée unitaire des moteurs et du poids corrélatif des véhicules, une technique dépassant celle de leurs concurrents.

C'est à peu près simultanément que, de 1948 à 1950, aux « proergols » dont le combustible était l'alcool et le comburant l'oxygène liquide succédaient, sur les premiers engins américains et soviétiques, la combinaison du kérosène et de ce même oxygène liquide. Aux États-Unis, le choix portait sur le JP-4, qui alimentait la plupart des moteurs à réaction. En 1954, au moment où elle passait le marché de l'Atlas, l'U.S. Air Force spécifiait l'emploi du JP-5, un mélange d'hydrocarbures à très bas point d'ébullition, donc à pouvoir calorifique plus élevé que le JP-4. Des difficultés d'approvisionnement le firent remplacer par le RP-1, mélange de même qualité mais plus « commercialisable », c'est-à-dire de production plus aisée en ce qui concerne la régularité des lots et l'identité des performances. Tel est, aujourd'hui encore, le combustible du Redstone, du Thor et du Jupiter, de l'Atlas, les engins balistiques à portée moyenne, intermédiaire ou intercontinentale en service aux États-Unis.

Un départ de l'Atlas. Cette fusée pour engins intercontinentaux a servi et servira encore au lancement de nombreux véhicules spatiaux. Sont allumés ici le moteur principal placé au centre, les deux « boosters » latéraux et l'une des fusées-verniers servant à l'ajustage de la vitesse finale. →





Cependant, l'ère des produits pétroliers dans l'alimentation des moteurs-fusées touche à sa fin. Commandés depuis plusieurs années, les premiers moteurs à hydrogène ont multiplié les essais satisfaisants et sont à la veille d'entrer en service : sur la plupart des véhicules spatiaux actuellement en chantier aux États-Unis, le Centaur, le Saturn, le Nova, un ou plusieurs étages seront propulsés à l'hydrogène. D'un autre côté, les essais de propulsion nucléaire, absorbant des centaines de millions de dollars, se poursuivent : propulsion directe par chauffage dans un réacteur atomique d'un « propulsif » qui serait encore de l'hydrogène, propulsion par éjection électrique ou magnétique d'ions ou de plasma à des vitesses qui ne seraient plus limitées à quelques milliers de mètres par seconde, mais pourraient atteindre quelques dizaines ou centaines de milliers de mètres par seconde.

Tels sont les modes de propulsion de demain, ceux qui seront indispensables dès qu'on voudra dépasser le stade du satellite et de l'impact sur la Lune pour accéder à la véritable navigation interplanétaire avec retour des équipages sur la Terre. Mais on ne saurait comprendre la véritable révolution aux débuts de laquelle nous assistons, si l'on n'a pas assimilé au préalable les quelques notions de mécanique et de thermodynamique qui les expliquent. Pour l'astronaute de demain qui aura à se réapprovisionner aux stations spatiales de ravitaillement, le « rapport de masse » et l'« impulsion spécifique » seront des notions aussi courantes que le rapport de compression et l'indice d'octane pour les clients des postes d'essence.

Le rapport de masse

Le calcul de la vitesse finale prise par une fusée, dans le champ de la pesanteur, en tenant compte de la résistance de l'atmosphère, est assurément compliqué. Mais on peut aisément mettre en évidence le rôle essentiel du « rapport de masse », c'est-à-dire du rapport entre la masse initiale de la fusée et sa masse finale après consommation du combustible si l'on accepte de négliger la pesanteur et la résistance de l'air. L'hypothèse s'écarte d'autant moins de la réalité que la montée en vitesse se fait en un temps plus court, ou à plus grande distance des centres d'attraction newtonienne.

Si l'on suppose la vitesse de combustion constante, dans un milieu n'opposant à l'échappement qu'une contrepression faible ou nulle, la poussée du moteur-fusée est sensiblement constante. Il semblerait donc que

le calcul de la vitesse finale du véhicule qu'il propulse soit un problème simple, tout à fait semblable à celui d'un corps auquel on appliquerait une force constante comme la pesanteur. Mais il y a une différence essentielle d'un cas à l'autre. Soumis à cette force constante qu'est son poids, le corps en chute libre conserve une masse constante. Soumis à une poussée constante par l'éjection à grande vitesse des gaz provenant des propergols qu'il emporte, le véhicule propulsé par fusée perd de sa masse à mesure que la combustion progresse; le mouvement est celui d'une masse régulièrement décroissante avec le temps, soumise à une force constante. Exprimée en terme d'accélération, c'est-à-dire de rapport de la force à la masse à laquelle elle s'applique, la différence entre la chute libre et le véhicule propulsé par moteur-fusée est celle de l'accélération constante (g) à l'accélération régulièrement croissante.

Vitesse d'éjection et vitesse finale

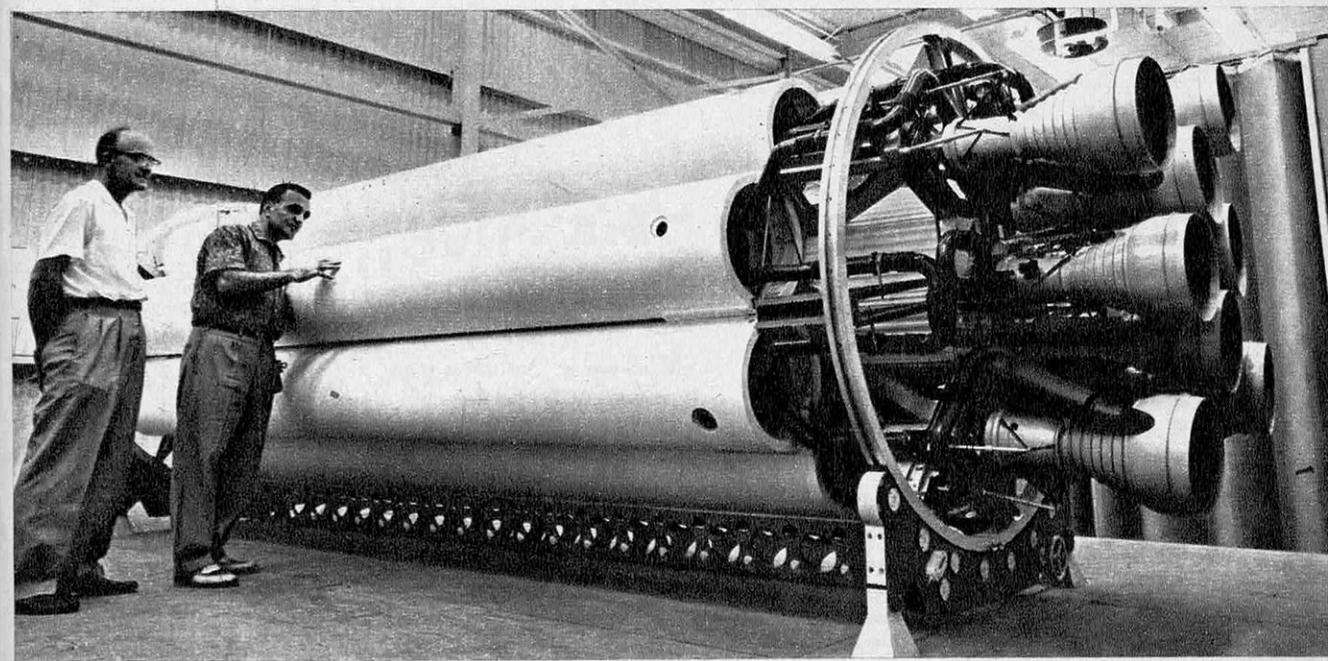
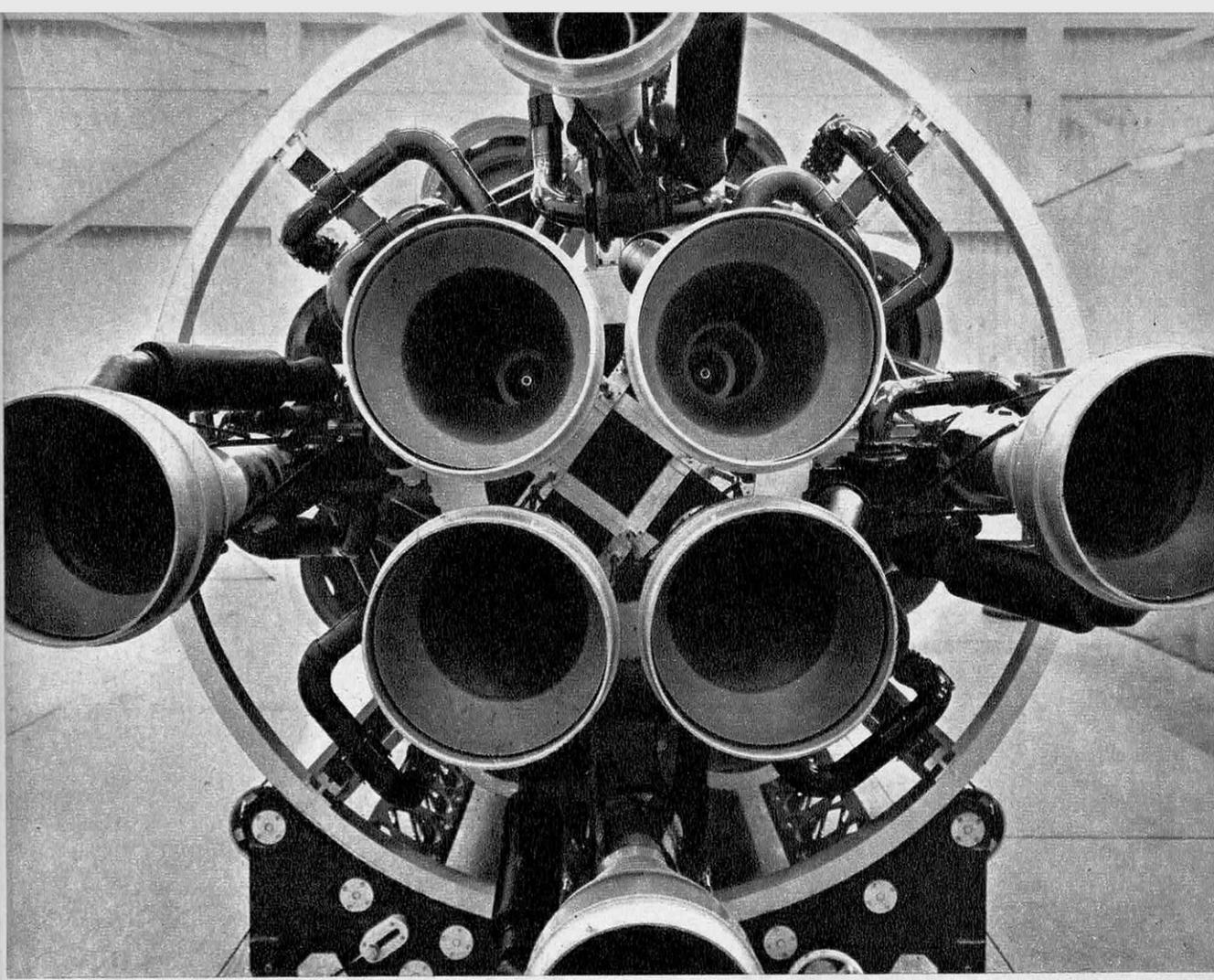
Le calcul donne la vitesse finale sous une forme très simple. Elle est égale au produit de la vitesse d'éjection par le « logarithme népérien (1) du rapport de masse. Par exemple, un engin qui contiendrait les deux-tiers de son poids total en combustible (rapport de masse 3) et qui éjecterait ses gaz à la vitesse de 2 000 m/s atteindrait, en fin de combustion, une vitesse de $2\,000 \times 2,3 \times \log 3$, soit 2 200 m/s. Ce sont là des chiffres voisins de ceux de la V_2 ; si l'engin contient les neuf-dixièmes de son poids total en combustible (rapport de masse 10), et éjecte ses gaz à la vitesse de 2 500 m/s, que ne dépassent guère les meilleures réalisations actuelles, il atteindra, en fin de combustion, une vitesse de $2\,500 \times 2,3 \times \log 10 = 5\,750$ m/s. Aussi ne s'étonne-t-on plus aujourd'hui qu'un engin à un seul étage dépasse 3 000 km alors qu'il atteignait difficilement 400 km en 1945.

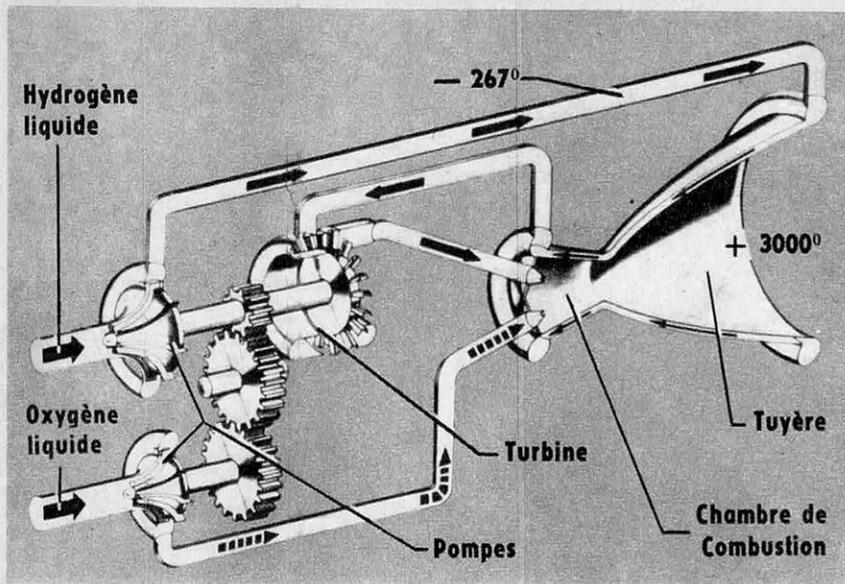
Le même calcul précisera, dans ce résultat global, la part qui revient à l'amélioration du combustible et de sa combustion et celle qu'il

(1) Le logarithme népérien est égal au logarithme décimal, celui des tables, multiplié par 2,3.

Le premier étage du Saturn →

Seul le premier étage de cet engin à deux ou trois étages est représenté ici à échelle réduite. Fait d'un assemblage de 8 moteurs-fusées, il aura une poussée de 680 000 kg. Au total, le Saturn permettra de placer un satellite de 15 000 kg sur orbite avec un périégée de 480 km. Mis en chantier en 1960, il sera prêt pour les lancements prévus en 1964.





Moteur-fusée à hydrogène

SUR le Pratt et Whitney XLR-115, la turbine entraînant les pompes à oxygène et hydrogène liquides est mue par l'hydrogène vaporisé au cours de son passage dans la double paroi de la chambre de combustion et de la tuyère. Un générateur à gaz indépendant pour la turbine n'est plus nécessaire; on refroidit en même temps efficacement le moteur dont le jet de gaz est porté à une température beaucoup plus élevée que dans le cas des moteurs-fusées classiques à kérosène.

faut rapporter à l'amélioration du rapport de masse.

Si, en remplaçant l'alcool par un hydrocarbure, en réduisant les imbrûlés, en augmentant la pression de combustion, en corrigeant le tracé de la tuyère, etc., la vitesse d'éjection avait été relevée de 2 000 m/s à 2 500 m/s sans que le rapport de masse changeât, la vitesse finale, accrue dans le même rapport, serait passée de 2 200 à 2 750 m/s. La portée maximum du plus lourd et du plus aérodynamique des engins équipés d'un tel moteur-fusée aurait gagné quelque 250 km, soit 750 km au lieu de 500 km.

Si, en conservant l'ancienne vitesse d'éjection de 2 000 m/s, on avait amélioré le rapport de masse de 3 à 10 par allègement du moteur-fusée, du corps d'engin et de sa charge explosive (le remplacement de l'explosif chimique par l'explosif thermonucléaire a été l'occasion d'une réduction de la charge « utile » de près de 10 % à 2 ou 3 %), la vitesse finale serait passée de 2 200 à 4 600 m/s; la portée de 500 à 2 300 km.

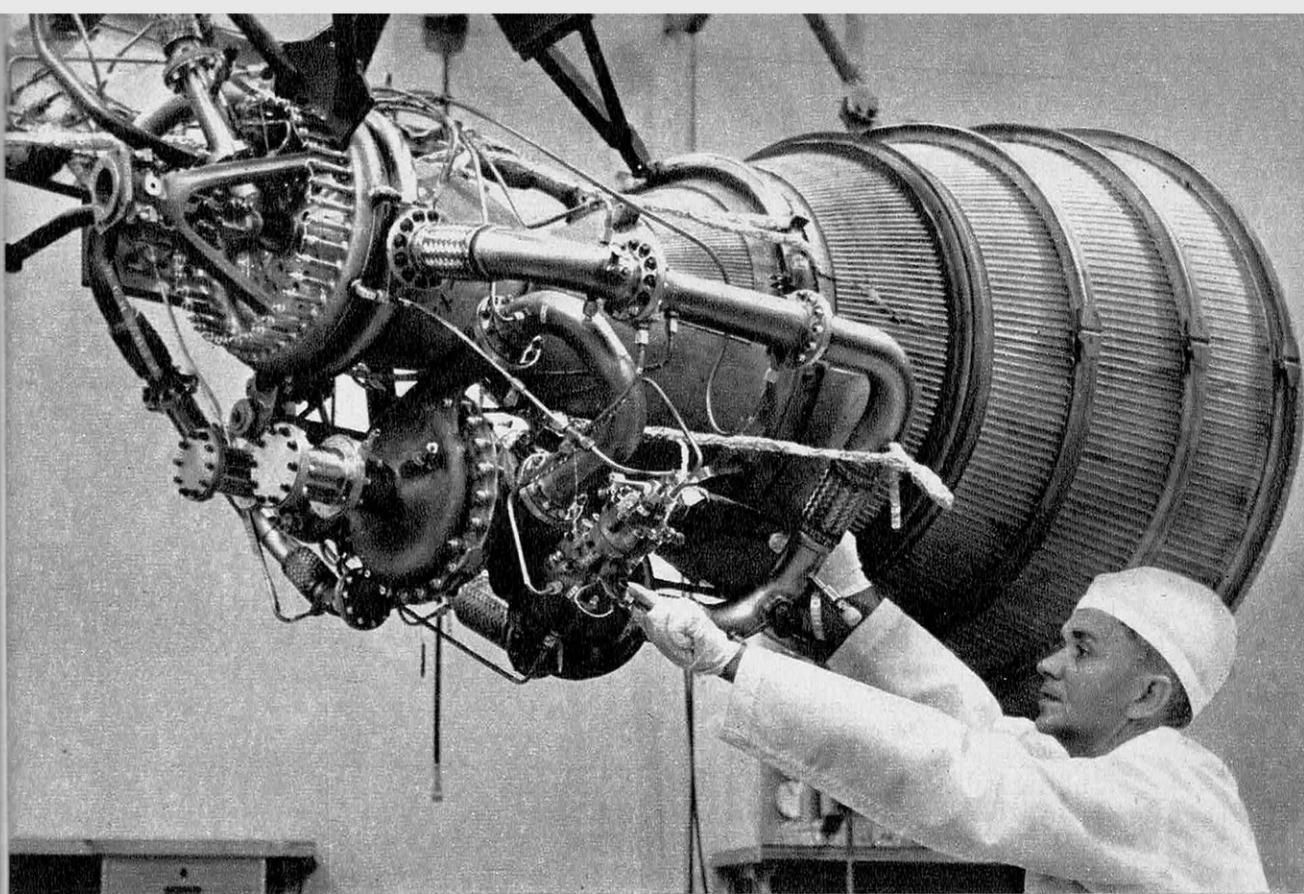
En quinze ans, le progrès essentiel dans la balistique des engins a donc été l'amélioration du rapport de masse par allègement des moteurs, des corps d'engins et des explosifs, et non pas le gain en puissance des propergols. Ce n'est pas que leur amélioration soit sans intérêt. Mais ni le remplacement de l'alcool par les hydrocarbures, ni les propergols solides qui marquent une régression en pouvoir calorifique n'ont le mérite principal des énormes progrès accomplis en engins balistiques et de leur transposition au domaine spatial.

Poussée et consommation

Un moteur d'avion entraînant une hélice se caractérise par sa puissance; un moteur-fusée, par sa poussée.

Les performances de l'ensemble du moteur et du combustible qu'il utilise se définissent par sa « consommation spécifique », c'est-à-dire le poids de combustible consommé pour produire l'unité de puissance pendant l'unité de temps. On dira, par exemple, que la consommation spécifique de tel moteur à explosions alimenté à l'essence est de 250 g au cheval-heure, que celle de tel diesel utilisant un gas-oil de pouvoir calorifique peu différent, bien qu'inférieur à celui de l'essence, est de 180 g au cheval-heure. De la même façon, lorsqu'on voudra définir les performances de l'ensemble d'un moteur-fusée et de ses propergols, on indiquera une consommation spécifique qui sera, cette fois, le poids de combustible consommé pour produire l'unité de poussée pendant l'unité de temps. Par exemple, le premier des moteurs-fusées américains monté sur avion, le 6 000 C-4 de la Reaction Motors qui équipait le Bell X-1, avait une consommation spécifique de 18,7 kg de propergols par kg de poussée et par heure. Le plus souvent, cette consommation spécifique est rapportée à la seconde; ce serait, dans le cas précédent, 0,0052 kg par kg de de poussée et par seconde.

Généralement, au lieu de la consommation spécifique, on préfère caractériser l'ensemble moteur-fusée-propergols par son inverse, l'« impulsion spécifique », une impulsion étant, en mécanique, le produit d'une force par un temps. La consommation spécifique



Ce Pratt et Whitney assurera une poussée de 68 000 kg au 2^e étage du Saturn.

étant la quantité de combustible consommée pendant une seconde pour produire une poussée de 1 kg, l'impulsion spécifique sera le temps, exprimé en secondes, pendant lequel 1 kg de combustible exercera une poussée de 1 kg. Le propergol, ou le moteur-fusée, a un rendement d'autant plus grand que l'impulsion spécifique est plus grande; elle atteint difficilement 250 s pour les meilleurs des propergols solides en service, 300 s pour les meilleurs des propergols liquides.

Pouvoir calorifique élevé, faible masse moléculaire

La première qualité demandée aux propergols et que traduit cette impulsion spécifique est le pouvoir calorifique élevé. Aussi l'oxygène liquide l'emporte-t-il, de ce point de vue, sur les autres comburants employés avant lui ou en même temps, l'eau oxygénée, l'acide nitrique; il est dépassé lui-même par l'ozone, le fluor, qui ne l'ont pas encore supplanté en raison des difficultés d'emploi. De même, parmi les combustibles, l'alcool ordinaire (éthanol) brûlant dans l'oxygène en dégageant seulement 2 080 calories par kilogramme de

mélange est inférieur aux hydrocarbures légers type essence d'aviation (environ 2 350 cal/kg), à l'acétylène (2 880 cal/kg) et surtout à l'hydrogène (3 210 cal/kg). Cette recherche des combustibles à pouvoir calorifique élevé est à la base des travaux sur le bore et ses dérivés.

Une deuxième qualité des propergols est la faible masse moléculaire des produits d'éjection. C'est elle qui élimine un certain nombre de combinaisons séduisantes, comme la combustion du magnésium dans l'oxygène qui dégage 3 615 cal/kg, ou du calcium dans le fluor (3 700 cal/kg), l'emportant même en pouvoir calorifique sur celle de l'hydrogène dans l'oxygène (3 210 cal/kg).

L'influence de la masse moléculaire résulte des lois de la thermodynamique qui donne la vitesse d'éjection par une formule où cette masse moléculaire intervient par l'inverse de sa racine carrée. Mais il est aisé d'en donner une explication simple. Le travail absorbé par la compression d'un gaz, comme le travail fourni par sa détente, ne dépendent pas de la densité; ils sont les mêmes, par exemple, pour l'hydrogène et pour l'oxygène, de masse moléculaire et de densité seize fois plus élevée. Lorsque ce travail de détente se transforme,

Les fusées

dans une tuyère, en énergie cinétique du jet de gaz, celle-ci est sensiblement la même par molécule, quelle que soit sa masse; la vitesse d'éjection, qui intervient dans l'énergie cinétique par son carré, varie donc comme l'inverse de la racine carrée de cette masse moléculaire. Telle est la raison de la supériorité des combustibles à forte teneur d'hydrogène (l'hydrogène lui-même ou l'ammoniac brûlé par les moteurs du North American X-15, dont les gaz de combustion sont riches en vapeur d'eau) sur les métaux comme le magnésium ou le calcium, qui donnent naissance à des oxydes plus lourds.

Le moteur-fusée à hydrogène

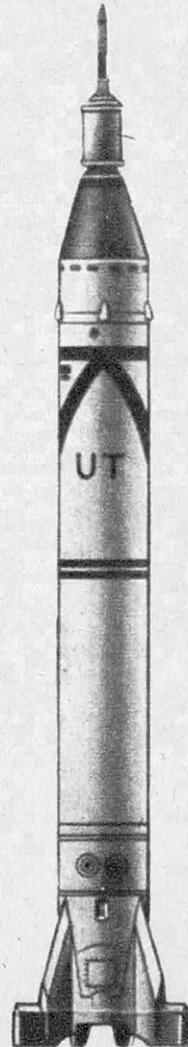
Les propositions d'emploi de l'hydrogène sont déjà lointaines. Elles remontent à Tziolkovsky, le précurseur incontesté de l'astronautique et des moteurs-fusées à propergols liquides, qui l'avait retenu dès 1903 sur son premier projet de véhicule spatial. Les difficultés tiennent à la fois à la très basse température d'ébullition du combustible, -253°C , et à sa légèreté, densité 0,07. Elles n'ont été surmontées que tout récemment, avec la mise au point par Pratt et Whitney du XLR115, un moteur-fusée à hydrogène et oxygène liquides de 6 800 kg de poussée. Les premiers essais ont été satisfaisants et on attend son entrée en service dès le début de 1961 sur le Centaur, un véhicule spatial à trois étages dont il constituera le deuxième, le premier étant un Atlas modifié et le troisième étant alimenté en propergols liquides emportés dans des récipients qui sont simplement débouchés lors de la mise en marche. Un deuxième moteur-fusée de 80 000 livres (36 400 kg) de même formule est actuellement à l'étude chez trois constructeurs, Pratt et Whitney, Aerojet et Rocketdyne, pour livraison au début de 1963. Le manque de crédits obligeait à différer la commande au début de 1960.

Le recours à l'hydrogène, dont on attend un relèvement de 50 à 100 % des charges utiles, avait été écarté lorsqu'on voulut améliorer le rendement des V-2. La considération du rapport de masse s'y opposait. Le pouvoir calorifique et même la vitesse d'éjection n'intéressent en effet le constructeur d'engins ou de véhicules spatiaux que dans la mesure où ils permettent d'atteindre une vitesse finale plus élevée. Or, avec sa densité à l'état liquide de 0,07, l'hydrogène réduit beaucoup la masse des propergols qu'on peut loger dans les réservoirs, donc le rapport entre la masse initiale et la masse finale du véhicule. En remplaçant simplement l'alcool des V-2 par de l'hydrogène liquide, et en supposant que les pompes, la chambre et la tuyère aient pu supporter le nouveau combustible, le calcul montrait que les performances auraient été fortement réduites.

Mais ne peut-on alléger la charpente et la mécanique de la fusée lorsqu'elle emporte des propergols de densité moindre? C'est bien difficile. Les efforts aérodynamiques restent les mêmes et ne permettent guère de réduire l'épaisseur des réservoirs et de la charpente; le système d'alimentation, en poids comme en consommation, dépend du volume qu'il devra débiter et non de la densité des produits qui le traversent; la chambre de combustion prête à la même observation.

Parfaitement valables pour les rapports de masse d'il y a dix ou quinze ans, ces objections ne s'opposent plus à l'emploi de l'hydrogène dans l'état actuel d'allègement des véhicules spatiaux et des moteurs-fusées. On ne pouvait pas accep-

Jupiter C
Explorer
21 m

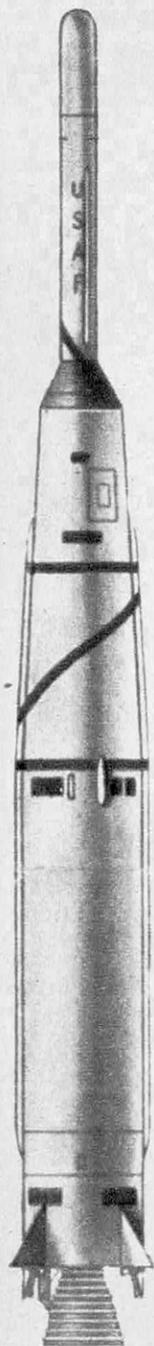


Vanguard
21,5 m



porte-satellites américaines

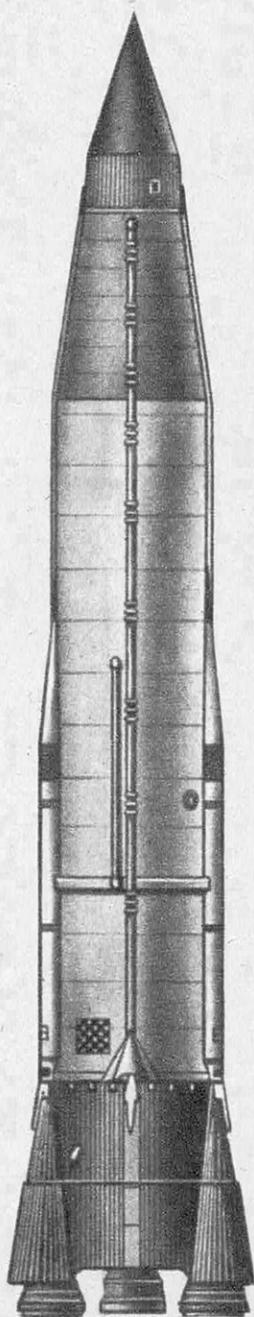
Thor-Able
Pioneer I
27 m



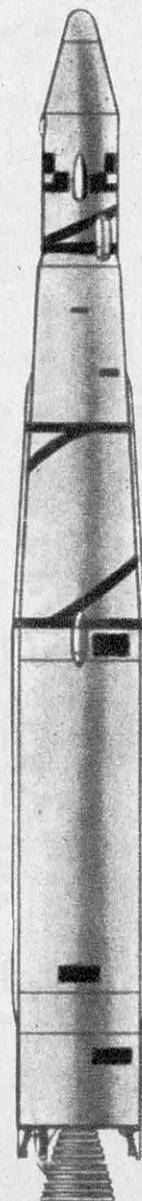
Juno II
Pioneer III
23 m



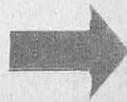
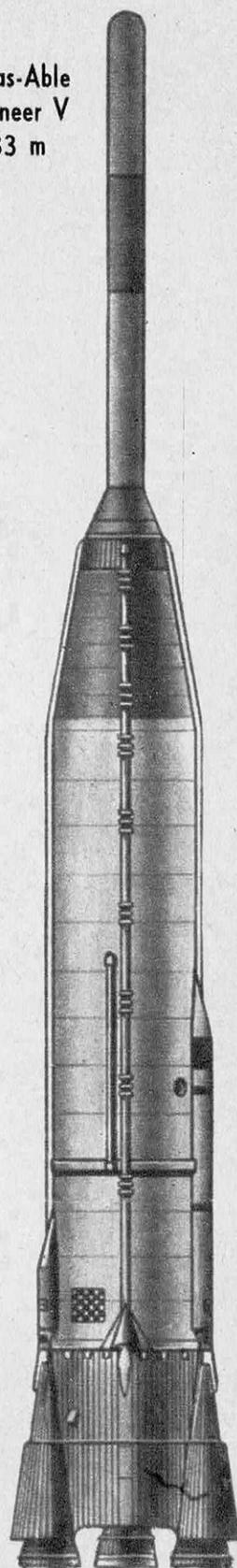
Atlas
Project Score
26 m



Thor-Hustler
Discoverer
24 m

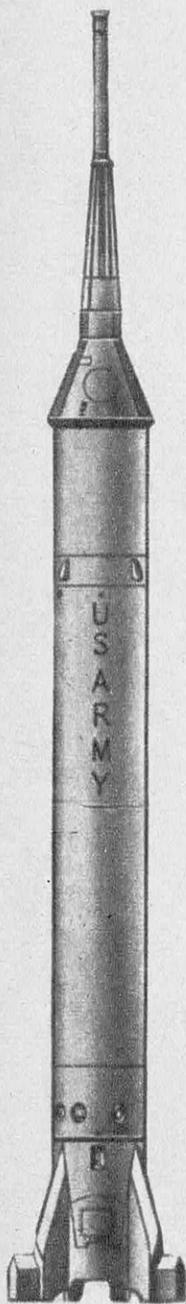


Atlas-Able
Pioneer V
33 m

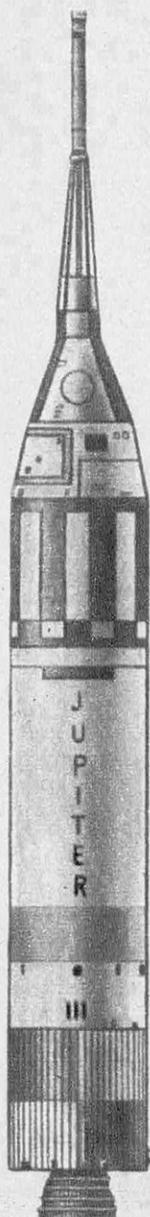


Fusées porte-satellites (suite)

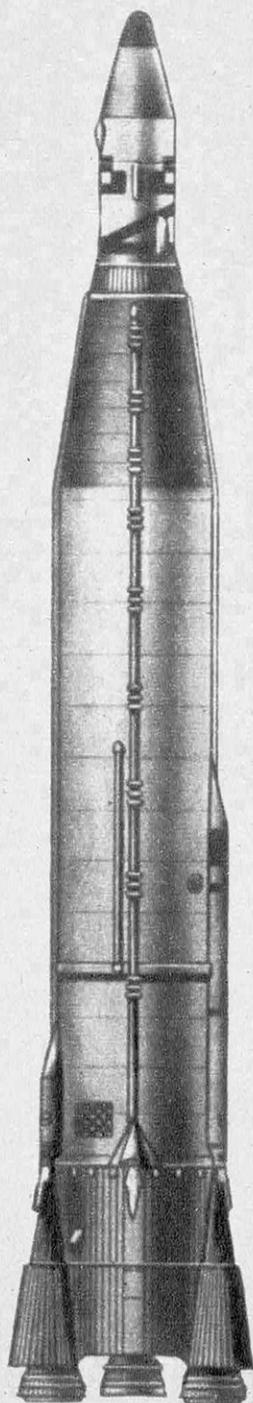
Redstone
Mercury
25,5 m



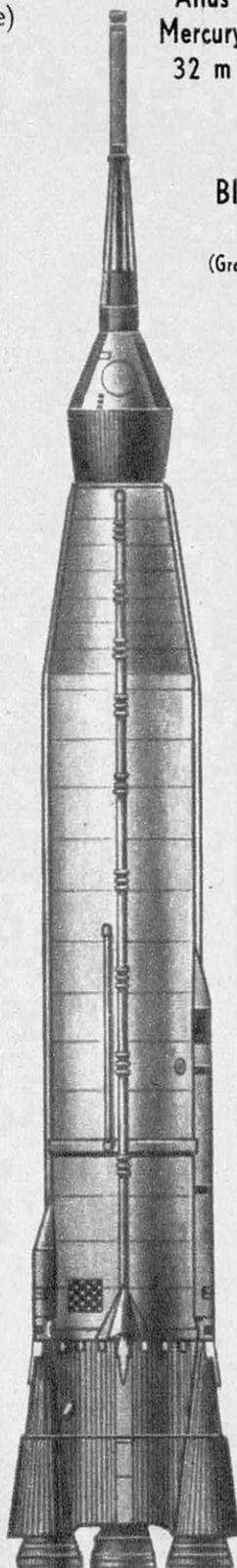
Jupiter
Mercury
24 m



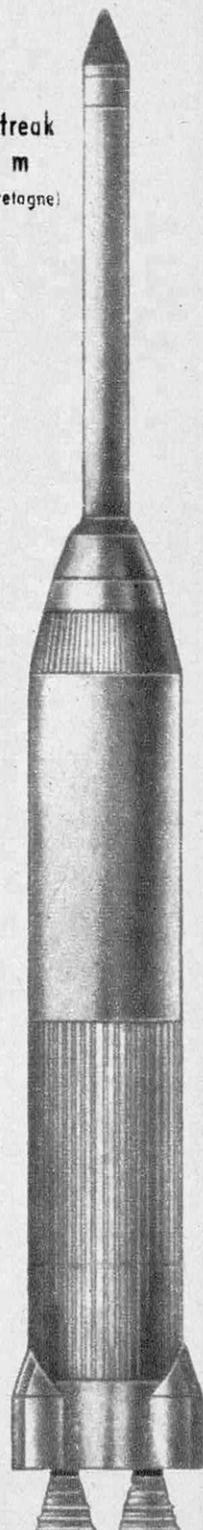
Atlas-Hustler
Discoverer
27,5 m



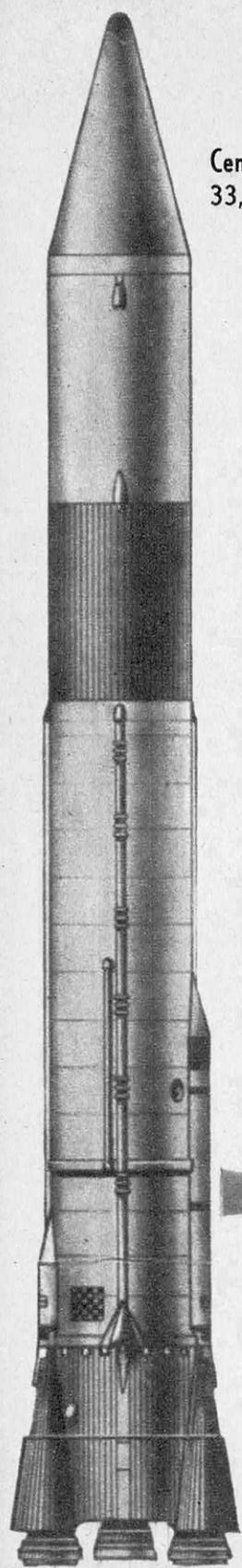
Atlas
Mercury
32 m



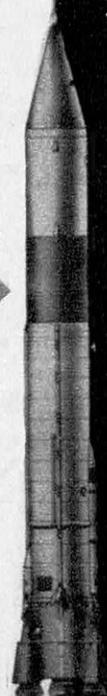
Blue Streak
30,5 m
(Grande-Bretagne)



Les futures fusées géantes américaines

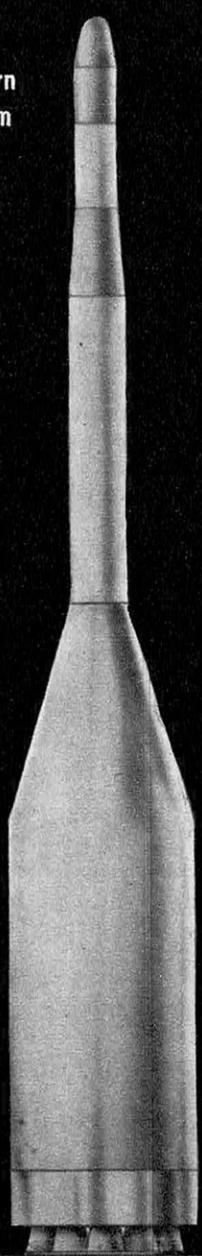


Centaur
33,5 m



Centaur
33,5 m

Saturn
61 m



Nova
79 m



ter de doubler le poids de construction d'une V-2 pour utiliser l'hydrogène, lorsque ce poids de construction représentait 25 % du poids de lancement. Le sacrifice n'est plus interdit lorsque les progrès techniques ont réduit cette fraction de 25 % à 10 %; le bénéfice en impulsion spécifique l'emporte alors sur la réduction du rapport de masse.

Dans le domaine des moteurs-fusées à propergols liquides, nous atteignons en 1960 l'ère de l'hydrogène. Sa supériorité doit s'accroître à mesure de l'allègement constructif des véhicules.

La propulsion nucléaire

Mais l'hydrogène aura-t-il besoin encore d'un comburant pour propulser les engins spatiaux ? Ne peut-on faire appel directement à cette source d'énergie qu'est le noyau atomique, infiniment plus légère que celles de l'énergie chimique ?

Une source d'énergie ne suffit pas à la propulsion dans le vide. A la différence de l'avion dont le propulseur brasse la matière au milieu de laquelle il se déplace, l'astronef doit rejeter vers l'arrière celle qu'il emporte avec lui, ce qui est la définition la plus générale de la propulsion par fusée. L'énergie employée à cette propulsion peut certainement provenir d'une autre source que la réaction chimique entre un combustible et un comburant. Mais, en dehors de la source d'énergie elle-même, l'astronef devra de toute façon emporter avec lui la « matière propulsive ». Cette condition exclut les accélérations ou décélérations indéfiniment renouvelées, utiliserait-on une source d'énergie extérieure entièrement gratuite comme le Soleil.

L'hydrogène, propulsif idéal

Beaucoup mieux encore que dans le cas des propergols chimiques, le propulsif idéal pour l'association avec l'énergie nucléaire est l'hydrogène. Lors de sa combustion dans l'oxygène, le remplacement d'un hydrocarbure par l'hydrogène donne dans les gaz d'échappement un peu plus de vapeur d'eau de masse moléculaire 18, au lieu de gaz carbonique de masse moléculaire 44. Mais, de la tuyère d'un propulseur nucléaire alimenté en hydrogène, sortira un gaz de masse moléculaire 2. Le gain signalé lorsque nous avons parlé de l'impulsion spécifique est alors porté à son maximum. Avec la même température du réacteur, l'hydrogène, neuf fois plus léger que la vapeur d'eau, permet de tripler la vitesse d'éjection qu'on pourrait en attendre.

La propulsion nucléaire la plus simple com-

portera donc un réacteur atomique, à uranium enrichi en U_{235} , échauffant l'hydrogène emporté sous forme liquide et l'éjectant à grande vitesse par une tuyère classique. A la différence près du propulsif qu'il est nécessaire d'emporter pour la navigation spatiale, le problème du réacteur et de la tuyère d'éjection ne diffère pas de celui que pose la propulsion nucléaire des avions où l'on utilise l'air atmosphérique.

Le projet Rover: Kiwi-A

Les deux problèmes sont à l'étude depuis longtemps aux États-Unis, celui de la propulsion nucléaire des avions depuis 1947, celui de la propulsion nucléaire des engins balistiques et des véhicules spatiaux depuis 1955. Des dizaines de millions de dollars sont dépensés chaque année sur l'un et l'autre sans qu'on soit encore parvenu à un matériel utilisable. Peut-être les considérations de sécurité n'y sont-elles pas étrangères.

Le Kiwi-A, premier modèle expérimental de propulseur nucléaire, ainsi dénommé d'après un oiseau de Nouvelle-Zélande qui ne peut voler, n'est pas dangereux pour le voisinage tant qu'on se borne à l'expérimenter dans le terrain de 45 km sur 65 km qui lui est réservé à Jackass Flats, dans le Nevada. Les risques seraient plus sérieux, à en juger par la fréquence des essais ratés de moteurs-fusées à combustibles chimiques, si on lançait du Cap Canaveral ou d'ailleurs un réacteur nucléaire qui ne réussirait pas à quitter le champ gravifique terrestre et retomberait en un point difficile à contrôler.

Le projet Rover, dont Kiwi-A est la première étape, a été confié au laboratoire de Los Alamos de l'Atomic Energy Commission. L'installation de Jackass Flats comprend trois postes distants d'environ 3 km : un emplacement d'essai du réacteur qui, ne disposant d'aucun blindage nucléaire, est un puissant émetteur de neutrons dont on ne peut approcher; un atelier où le matériel refroidi est démonté et remonté par un outillage que télécommande un personnel abrité par un épais blindage; enfin un poste de contrôle où sont centralisés les commandes et les enregistrements d'essais.

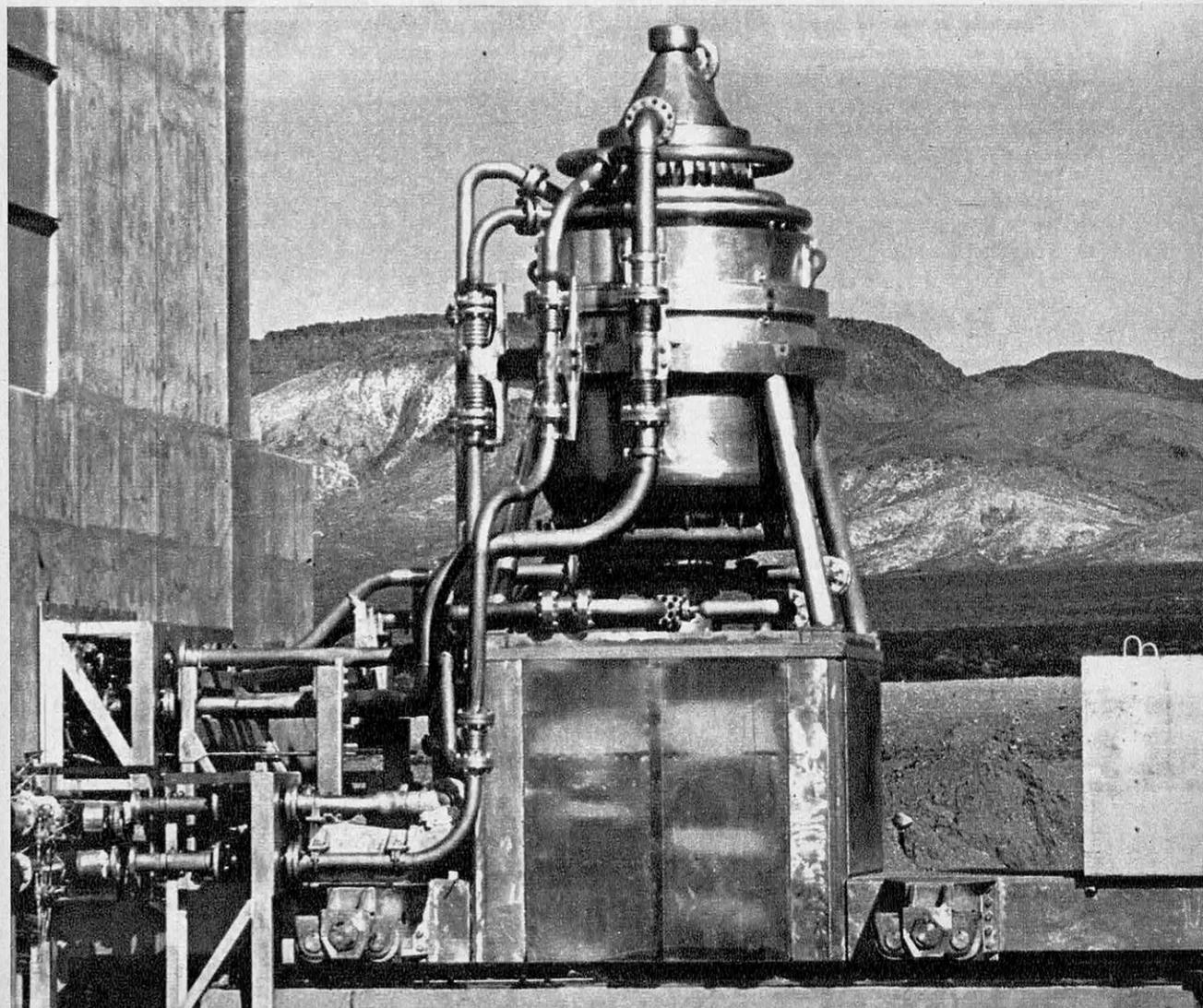
Le propulsif final sera de l'hydrogène. Cependant, pour minimiser les risques d'incendie du matériel si l'on éjectait un gaz éminemment combustible et à très haute température, les premiers essais sont conduits avec de l'ammoniac et de l'hélium. Les essais sont en cours depuis le printemps 1959.

Le projet Pluto, celui d'une propulsion par statoréacteur avec source de chauffage sem-



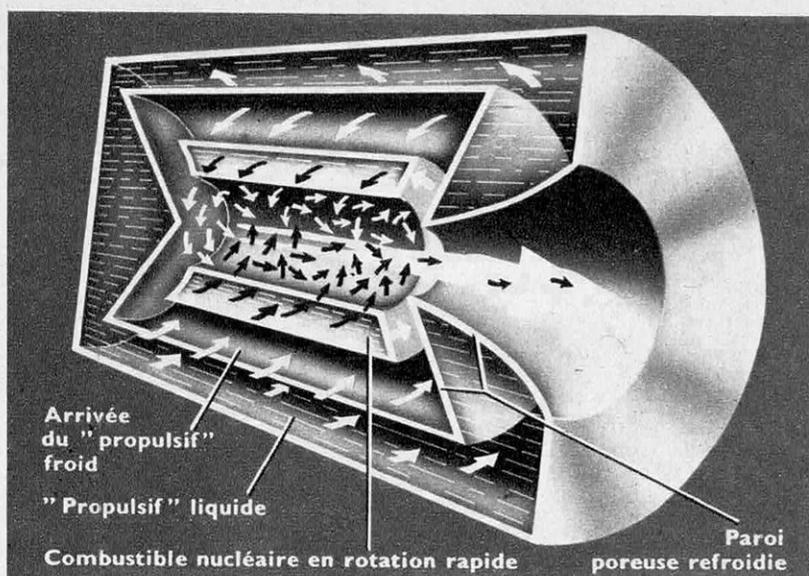
Un réacteur aux essais pour la propulsion nucléaire

Le Kiwi-A, qui ne volera pas sous sa forme actuelle, est un réacteur à uranium enrichi, expérimenté actuellement à Jackass Flats, dans le désert du Nevada. On le voit ci-dessous, la tuyère dressée verticalement, sur le chariot qui l'éloigne de 3 km de la station (ci-dessus) d'où il est télécommandé lors de son fonctionnement et où s'effectuent les enregistrements. Ce sera peut-être la formule pour les premières fusées nucléaires spatiales.



Fusée nucléaire à réacteur gazeux

Ce type de propulseur nucléaire est étudié par l'Université de Princeton et l'Atomic Energy Commission. L'uranium enrichi est en phase gazeuse, traversé par le « propulsif », hydrogène par exemple. L'hydrogène liquide est envoyé dans la double paroi, vaporisé, puis injecté tangentiellement au corps cylindrique qui contient le mélange gazeux mis en rotation. Il le traverse et arrive dans la tuyère à une température qui atteindrait plusieurs fois celle d'un réacteur ordinaire. La force centrifuge doit s'opposer à l'entraînement du combustible nucléaire.



D'après « Aviation Week »

blable au projet Rover est également étudié à Jackass Flats, dans un centre d'essais voisin.

D'après les déclarations récentes de M. Mac Cone, président de l'Atomic Energy Commission, les premiers résultats obtenus avec le Kiwi-A auraient confirmé les prévisions théoriques quant aux impulsions spécifiques de 750 s qu'on pourrait attendre de ce mode de propulsion; la consommation de propulsif serait donc, en gros, le tiers de celle des moteurs-fusées actuels.

La propulsion ionique

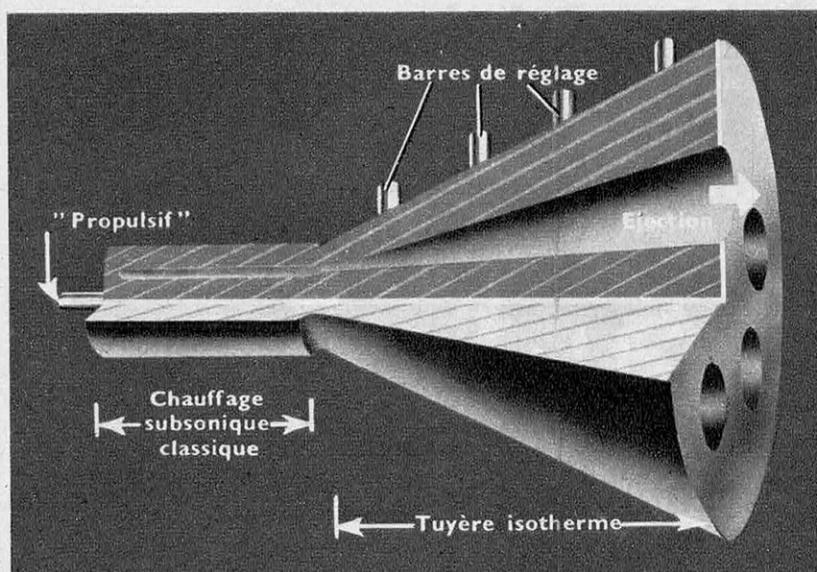
La propulsion ionique et la propulsion par éjection d'un « plasma », mélange non séparé d'ions et d'électrons à très haute température, est une variante de la propulsion nucléaire exigeant l'intermédiaire de l'énergie électrique. Sans doute, la centrale électrique supplémentaire alourdit considérablement le véhicule par rapport au réacteur directement utilisé à l'échauffement d'un gaz. Mais on y trouve le bénéfice d'une impulsion spécifique dix ou cent fois supérieure, donc d'une très faible consommation de propulsif.

Dans la propulsion ionique, l'énergie électrique en provenance de la centrale nucléaire actionne un accélérateur de particules soit électrostatique, soit électromagnétique. Pour être sensible à l'action de ces accélérateurs, la matière ne doit pas se présenter sous la forme électriquement neutre des atomes et molécules habituels, mais sous forme ionisée, c'est-à-dire privée d'au moins un électron. Le propulsif

sur lequel ont porté les premiers essais est le rubidium ou le césium; ces métaux s'ionisent en effet avec un excellent rendement s'ils sont vaporisés et portés au contact d'une surface de platine chauffée. L'accélérateur, s'il est électrostatique, aura des dimensions extrêmement réduites, de l'ordre du centimètre en longueur pour une alimentation sous 5 000 volts et une vitesse d'éjection de 100 000 m/s. Bien que les électrons ne puissent produire, en raison de leur faible masse, aucun effet propulsif utile, il faut les éjecter pour ne pas porter l'astronef à un potentiel négatif tel qu'il attirerait trop intensément les ions éjectés; on y parviendra soit par un autre accélérateur de particules, soit plus simplement par une pointe qui crachera le jet d'électrons.

Éjection à 100 km/s

A l'inverse du moteur-fusée utilisant la détente dans une tuyère d'un gaz chauffé par une combustion ou un réacteur nucléaire, l'accélérateur de particules donne aisément les vitesses d'éjection de plusieurs centaines de kilomètres par seconde. Le rendement propulsif, lié au rapport de cette vitesse d'éjection à la vitesse du véhicule, sera faible; la consommation d'énergie sera élevée. Mais ce gaspillage n'est pas grave, tenu compte de l'énorme quantité qu'on peut en tirer d'un réacteur atomique sans avoir à le recharger; la difficulté ne vient guère que du poids de l'installation électrique. Le compromis entre ce poids et la consommation de propulsif



Tuyère à détente isothermique

POUR augmenter la vitesse d'éjection, on a imaginé de donner à une partie du réacteur nucléaire la forme d'une tuyère, pour que la chaleur dégagée par la fission des noyaux d'uranium maintienne à une valeur élevée la température du gaz propulsif malgré son expansion. On communiquerait ainsi à ce dernier une énergie supplémentaire considérable. Elle serait cependant absorbée en partie par la dissociation des molécules du gaz, ce qui réduirait le rendement. Mais en compensation la masse moyenne des particules éjectées serait abaissée.

s'établit autour des 100 000 m/s pour la vitesse d'éjection et de valeurs très faibles, moins du 1/1 000 de l'accélération de la pesanteur, pour l'accélération du véhicule. La propulsion ionique ne peut donc être envisagée que pour les voyages spatiaux de très longue durée, avec un premier étage de réacteurs chimiques ou nucléaires imprimant au véhicule une poussée initiale supérieure à la pesanteur.

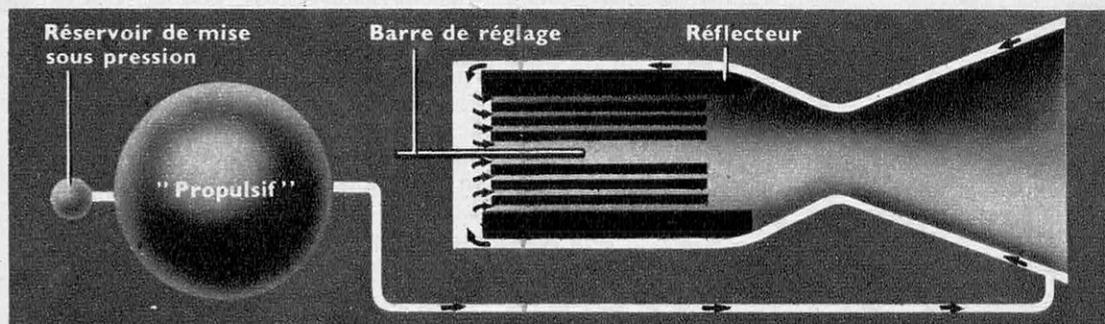
Le vol à 160 000 km/h.

Les propositions de propulsion ionique sont déjà anciennes et remontent au moins à Hermann Oberth. Les services officiels amé-

ricains ont passé depuis plusieurs années des marchés d'études pour la réalisation de tels propulseurs, en faible puissance; les constructeurs ont multiplié les projets. En janvier dernier, le NASA annonçait les essais d'un propulseur ionique à son laboratoire de Cleveland.

D'après J. Childs, chef de la branche de propulsion électrique, ce prototype, qui n'en est encore qu'au stade préliminaire, serait capable de communiquer à des fusées des vitesses supérieures à 160 000 km/h.

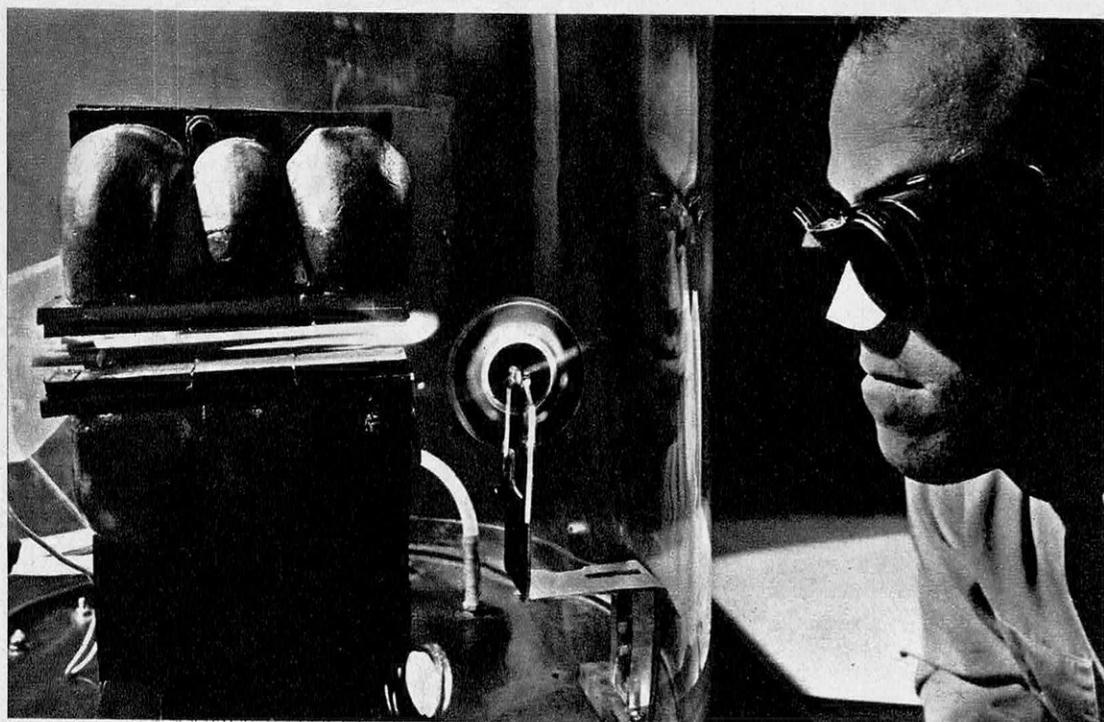
Voici d'autre part les données d'un projet tout récent, le projet Lockheed, étudié par John Cobb et William Cutler.



D'après « Aviation Week »

Moteur-fusée nucléaire à basse pression

Ce moteur est basé sur la dissociation presque complète des molécules du « propulsif », ici de l'hydrogène, lorsque l'on abaisse sa pression dans le réacteur à une valeur de l'ordre de 0,015 kg/cm². On peut réduire ainsi de 40% la masse moyenne des particules éjectées, ce qui augmente de 30% l'impulsion spécifique. Accessoirement on supprime la nécessité d'une pompe d'injection que remplace une bouteille d'hélium sous pression.



Une roue de turbine animée par un jet d'ions

L'ÉJECTION ionique ne donne qu'une poussée très faible, suffisante cependant ici pour faire tourner une roue légère. Dans l'espace intersidéral où les distances sont énormes, de telles poussées s'exerçant pendant de longues durées pourront communiquer aux véhicules spatiaux des vitesses considérables et orienter leurs trajectoires quand ils seront loin des champs gravifiques de la Terre et des autres planètes.

Le générateur nucléaire, d'une puissance de 1 000 kW, pèserait 3 600 kg, dont 200 kg d'uranium enrichi. Il logerait dans un cylindre de 0,75 m de diamètre sur 1,20 m de longueur. Pour éviter l'énorme surface radiante de la source froide, la source d'énergie électrique serait une pile thermoélectrique chauffée par le réacteur à plus de 2 000° C. Le propulsif employé serait le césium. L'accélération atteindrait la valeur, très élevée pour ce type de propulseur, de 1/1 000 de l'accélération de la pesanteur terrestre.

La propulsion par plasma

La propulsion par accélération de plasma, moins ancienne que la propulsion ionique, est expérimentée en laboratoire depuis plusieurs années.

Le plasma est obtenu en faisant passer un courant électrique très intense entre deux électrodes qu'il vaporise à une température de plusieurs milliers de degrés. La matière se présente alors sous forme ionisée, c'est-à-dire

d'un mélange non séparé, très conducteur, d'ions et d'électrons qui constitue le plasma. Le même courant intense est disposé de manière à produire un champ magnétique dont l'action s'exerce sur le plasma porteur du courant et le projette à grande vitesse. On peut en somme considérer que l'accélérateur à plasma fonctionne sur le même principe qu'un moteur électrique ordinaire, mais dans lequel les champs magnétiques et les intensités de courants seraient quelques milliers de fois plus élevés.

La propulsion par plasma donne des vitesses d'éjection qui ont atteint 80 000 m/s et des impulsions spécifiques qui ne dépassent pas encore 6 000 s, plus faibles que la propulsion ionique. Mais la plasma retrouve son avantage du côté de la masse éjectée. Si bien que les poussées obtenues peuvent être cent fois plus élevées que celles de la propulsion ionique.

Avec le concours ouvert par l'U.S. Air Force en novembre 1959 et les projets remis en février 1960, actuellement examinés, la

Une fusée à propulsion ionique avec générateur nucléaire →

L'ÉNERGIE nécessaire à la turbine à gaz qui entraîne la génératrice électrique est fournie par un réacteur nucléaire, la source froide étant le corps de la fusée fonctionnant en radiateur. Le courant électrique ainsi produit (sous quelques milliers de volts) sert à la vaporisation du césium, à son ionisation par une grille chauffée et, enfin, à l'accélération électrostatique des ions entre deux grilles portées à des potentiels différents.

propulsion électrique abandonne le stade des recherches de laboratoire pour entrer dans celui des réalisations industrielles. Le programme officiel, qui laisse une assez grande liberté pour le choix de la solution, se rapporte au dernier étage d'un engin, avec un générateur nucléaire d'une puissance de 300 kW; le développement ultérieur jusqu'à 1 000 kW est prévu.

Une vingtaine de firmes participent au concours, qui réunit les Grands de l'industrie électrique, General Electric et Westinghouse, ceux de l'aviation, Convair, Lockheed, Martin..., ceux du moteur-fusée, Aerojet...

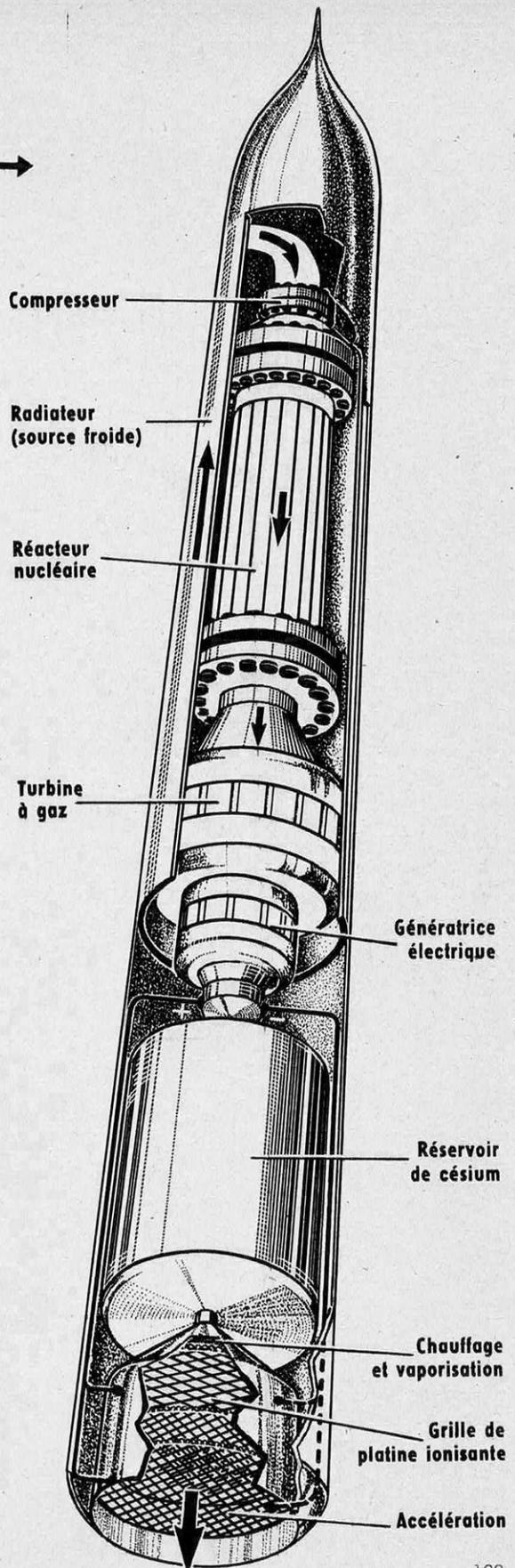
L'avenir de la propulsion spatiale

L'allègement constructif des réservoirs, des moteurs-fusées et des charpentes a déjà donné l'essentiel de ce qu'on pouvait en attendre. Ces dernières années, le progrès est venu de l'accroissement des tonnages, et les essais soviétiques du début de 1960 dans le Pacifique comme les projets américains de moteurs-fusées nouveaux, capables de dépasser le millier de tonnes de poussée sont toujours orientés dans cette voie.

Cependant, l'expérience montre que le recours au gigantisme annonce qu'une technique est proche de ses limites et s'apprête à faire place à une autre. Le remplacement des hydrocarbures par l'hydrogène marquera le maximum de ce qu'on peut attendre des réactions chimiques.

La propulsion nucléaire, puis la propulsion électrique, ionique ou à plasma, dont nous n'avons sommairement indiqué que les réalisations les plus simples parmi celles qui sont à l'étude, devraient entrer en service dans quelques années et donner à l'homme, au cours de leur développement, tous les moyens de transport qu'il peut désirer pour l'exploration de son système planétaire.

Camille ROUGERON



AU RETOUR DANS L'ATMOSPHÈRE :

Le mur de la chaleur

LE retour sur la Terre du premier voyageur de l'espace est un événement quasi assuré pour l'an prochain, selon le planning américain. L'intérêt que l'U.R.S.S. trouvera à devancer les États-Unis dans un domaine où elle a toujours pu jusqu'ici conserver la première place, nous donne donc la quasi-certitude qu'un satellite soviétique avec passager rejoindra notre planète dès cette année.

Il y a d'autant moins de raisons de douter de ce double succès que la simplicité relative de réalisation a été affirmée par les responsables du projet américain dès son annonce, le 17 décembre 1957. La solution retenue pour le projet Mercury, déclarait le docteur T. Keith Glennan, l'administrateur du NASA chargé de l'entreprise, faisait volontairement appel aux techniques les plus simples et les plus dignes de confiance; elles ne demandaient que le minimum de développements nouveaux. Sans doute, la longue série d'essais prévus avec un matériel à échelle réduite, puis avec le matériel vraie grandeur, à des vitesses croissantes, retardait l'achèvement d'un programme échelonné sur 1959-60-61. Mais elle garantissait le résultat final avec les moindres risques. Telles étaient les raisons, qu'on peut juger parfaitement valables, qui ont fait différer jusqu'en novembre 1959 la commande du matériel concurrent, celui du planeur hypersonique Dyna-Soar, beaucoup plus prometteur dans ses applications futures, mais dont les premières et difficiles réalisations ne sauraient intervenir avant 1963.

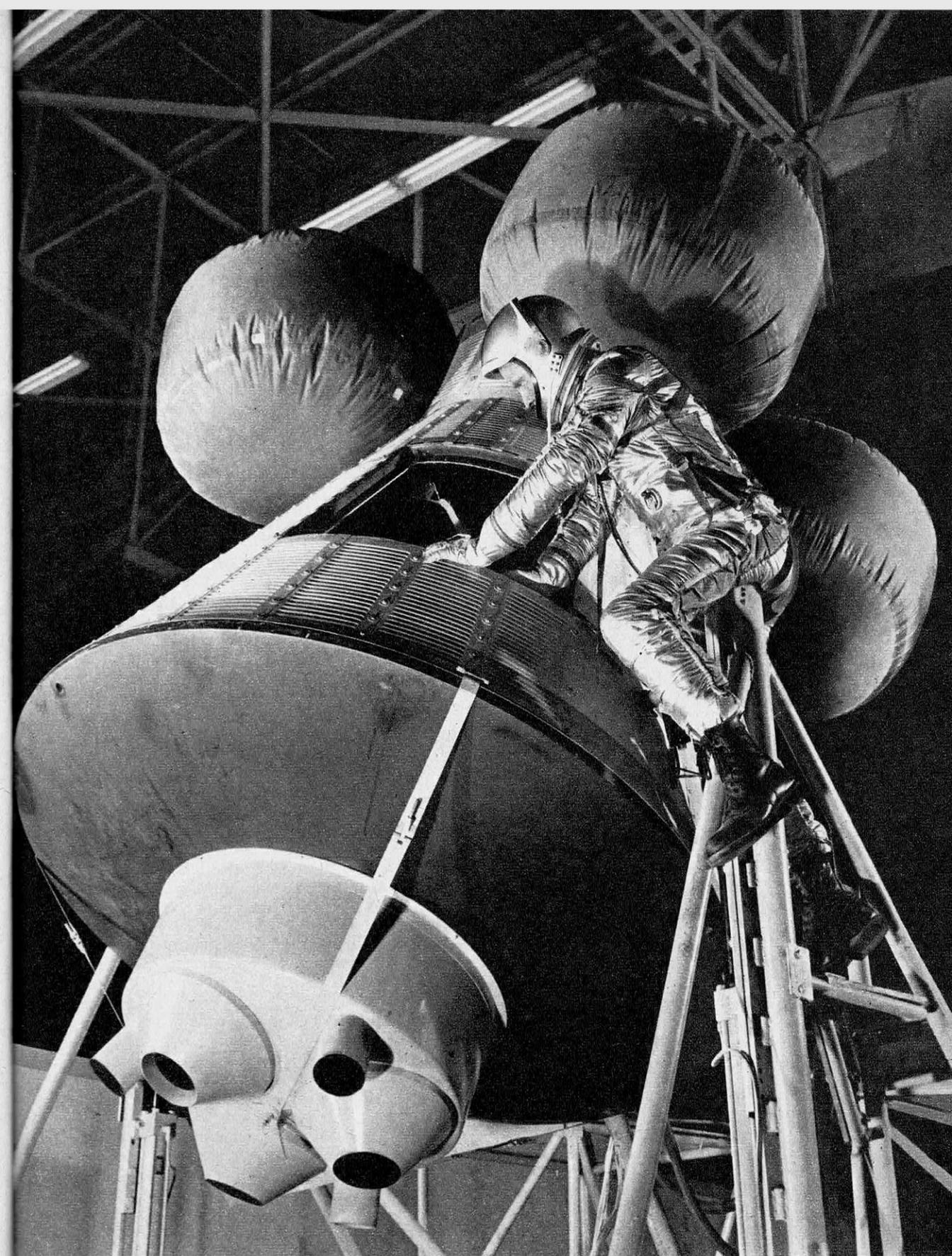
L'U.R.S.S. couvre d'un secret complet la

nature du matériel qu'elle prépare et les dates qu'elle prévoit pour son essai. Interviewé en janvier 1959, au lendemain de la commande à McDonnell des «capsules» du projet Mercury, M. Koukarkine, vice-président de l'organisme soviétique responsable, déclarait que «le départ d'un homme pour un voyage cosmique ne lui paraissait plus très éloigné». Mais les informations ultérieures ont été savamment dosées dans un sens et dans l'autre pour maintenir l'opinion mondiale dans l'incertitude. Cependant, lorsque l'U.R.S.S. annonça, le 7 janvier dernier, son intention d'utiliser le Pacifique central pour des essais de retombée de véhicules spatiaux à grande puissance, l'interprétation qui prévalut dans les milieux américains intéressés à ce genre de recherche fut l'imminence des premiers essais soviétiques de rentrée dans l'atmosphère.

Les problèmes mécaniques de la rentrée

Comment ramener sur la Terre le passager d'un satellite qui tourne autour d'elle sur une orbite approximativement circulaire et qui dispose, pour tout moyen de manœuvre, d'une fusée infiniment moins puissante que celle qui l'a placé sur cette orbite?

Au premier abord, la manœuvre la plus efficace paraît être l'orientation de la fusée suivant la verticale, la tuyère vers le haut, en imprimant ainsi, vers le sol qu'on désire rejoindre, le supplément de vitesse qui y ramènera. Sous une autre forme, le satellite équilibrant sur son orbite son poids par la



La capsule Mercury : en bas les rétrofusées, en haut les flotteurs d'amerrissage.

force centrifuge, il suffirait d'ajouter à ce poids la poussée d'une fusée pour amorcer le mouvement de retour en rompant cet équilibre.

Le calcul ne vérifie pas l'efficacité de ce procédé, apparemment le plus simple. Pour ramener ainsi un satellite vers la Terre, on devrait disposer à son bord d'une masse de propergols supérieure à la sienne propre. Il ne faut pas oublier en effet que le satellite emmagasine, sous forme d'énergie cinétique, l'énergie chimique de la masse de propergols consommée au cours de sa mise en place, cent ou deux cents fois plus forte que la sienne.

Le procédé de beaucoup le plus économique pour revenir vers la Terre est le freinage par une « rétro-fusée », éjectant ses gaz dans le sens du mouvement du satellite. La mise en route de cette fusée en réduit la vitesse, donc la force centrifuge qui équilibre son poids. Celui-ci l'emporte et fait descendre le satellite dans une atmosphère de plus en plus dense qui superpose au freinage de la rétro-fusée un freinage aérodynamique accélérant encore la descente. La manœuvre peut être comparée à celle d'un servo-frein où un léger effort initial met en mouvement un dispositif qui l'amplifie. Le calcul montre qu'avec un propergol solide à l'impulsion spécifique de 200 s et une consommation ne dépassant pas, en masse, le 1/200 de celle du satellite, on peut abaisser d'une trentaine de kilomètres le périhélie d'une orbite se situant à une centaine de kilomètres de la Terre, donc la faire pénétrer dans une zone d'atmosphère assez dense pour que le freinage aérodynamique consécutif ramène rapidement le satellite au sol.

Tel est le procédé retenu notamment pour les capsules du projet Mercury, où le freinage par rétro-fusée ne prétend nullement à absorber, directement, une fraction importante de la vitesse.

Pour ne pas être volatilisé

Si l'atmosphère, et non la rétro-fusée, est le facteur principal du freinage, l'énergie cinétique du satellite va se retrouver en presque totalité sous forme de chaleur, partagée entre l'air ambiant et le satellite lui-même.

L'évaluation de cette chaleur est aisée. A la vitesse de quelque 8 000 m/s des satellites à orbite voisine de la Terre, l'énergie cinétique de chaque kilogramme de satellite est de 3 200 000 kgm soit 7 500 kilocalories. Si ce kilogramme de satellite se présentait sous forme d'eau, l'un des corps dont le

chauffage et la vaporisation absorbent le plus de chaleur, il suffirait du dixième de l'énergie cinétique ainsi transformée en énergie thermique pour la vaporiser. La conclusion ne peut surprendre, car le satellite a été mis en place par une transformation inverse, celle de l'énergie thermique dégagée dans la combustion des propergols en énergie cinétique; il a donc incorporé, au rendement près de la transformation, l'énergie de cette masse de propergols quelques dizaines de fois supérieure à la sienne.

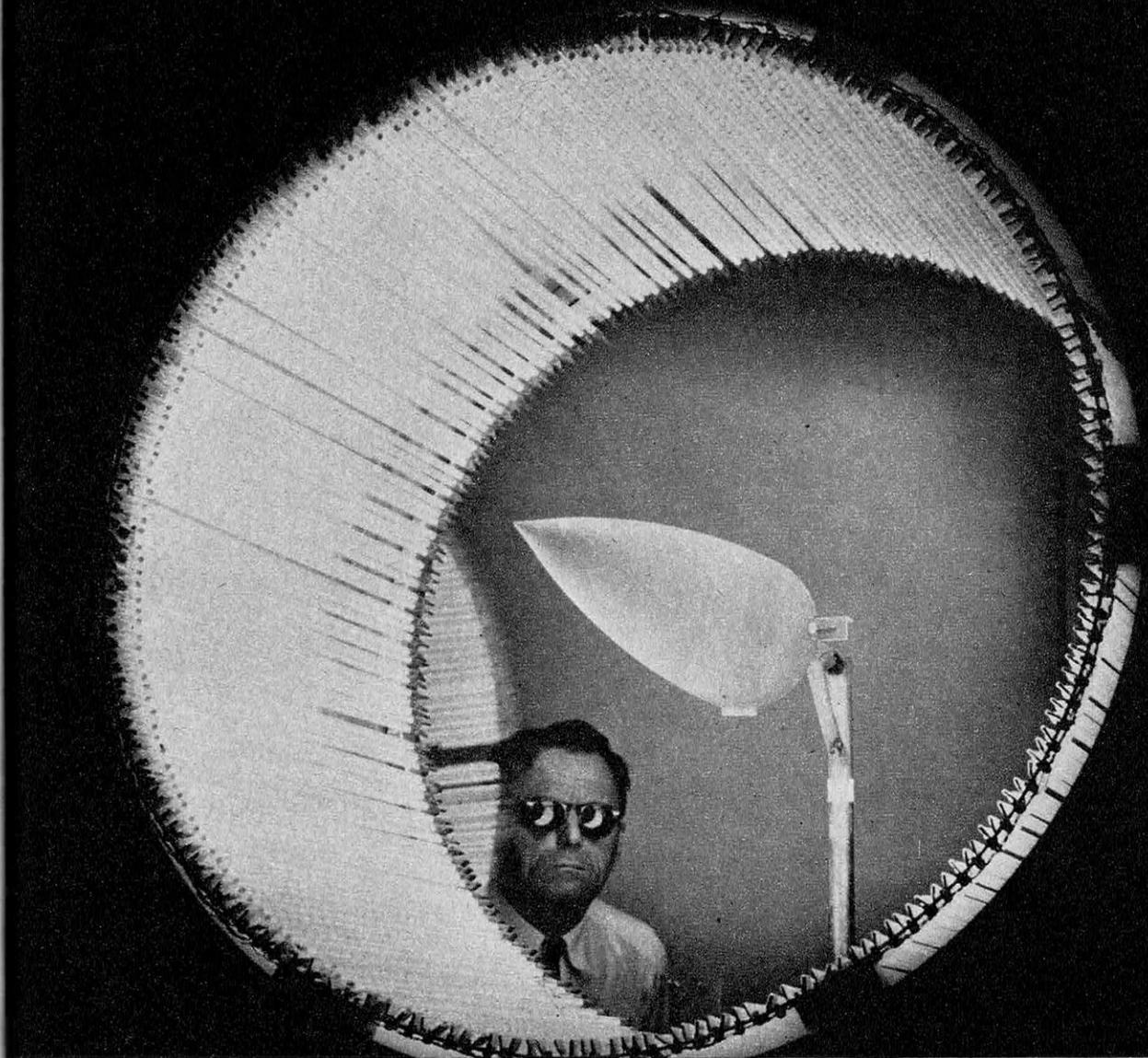
Tout satellite se volatiliserait donc à son retour, comme l'expérience l'a montré jusqu'ici, sauf si l'on réussit à empêcher cette chaleur de pénétrer à son intérieur, en l'expulsant dans l'atmosphère. Or, la répartition de la chaleur se fait selon des lois très différentes suivant la forme du véhicule.

La résistance opposée par l'air au déplacement du véhicule, sa « traînée », se décompose en une traînée de forme et une traînée de frottement, la première tenant aux surpressions et dépressions locales, la seconde aux forces provenant de la viscosité de l'air, donc du frottement dans les couches au voisinage immédiat de la surface.

Aux vitesses supersoniques de la rentrée, la traînée de forme dissipe la chaleur en ondes de choc qui la dispersent directement dans l'atmosphère; la traînée de frottement réparti au contraire la chaleur à peu près par moitié entre le corps et l'atmosphère, suivant le degré de « turbulence » de la couche limite au voisinage immédiat du corps.

Sur un avion supersonique, tant que le problème du refroidissement est secondaire, on s'efforce de réduire au minimum la puissance de propulsion et la traînée totale. On ne peut pas grand-chose du côté traînée de frottement, liée à la surface de voilure indispensable à l'atterrissage. Mais on diminuera beaucoup la traînée de rencontre par des fuselages pointus et des bords d'attaque coupants.

Sur un véhicule organisé pour la rentrée dans l'atmosphère, où le problème du refroidissement passe au premier plan, la solution inverse s'impose : réduction au maximum de la surface, donc de la traînée de frottement génératrice d'échauffement pour le véhicule; relèvement au maximum de la traînée de forme, qui disperse dans l'atmosphère la chaleur produite. Telle est la raison du large arrondi d'ogive sur les engins balistiques, peu favorable à la montée en vitesse, mais indispensable au retour. La calotte sphérique au rayon plus grand encore des capsules du projet Mercury transpose cette solution au satellite piloté.

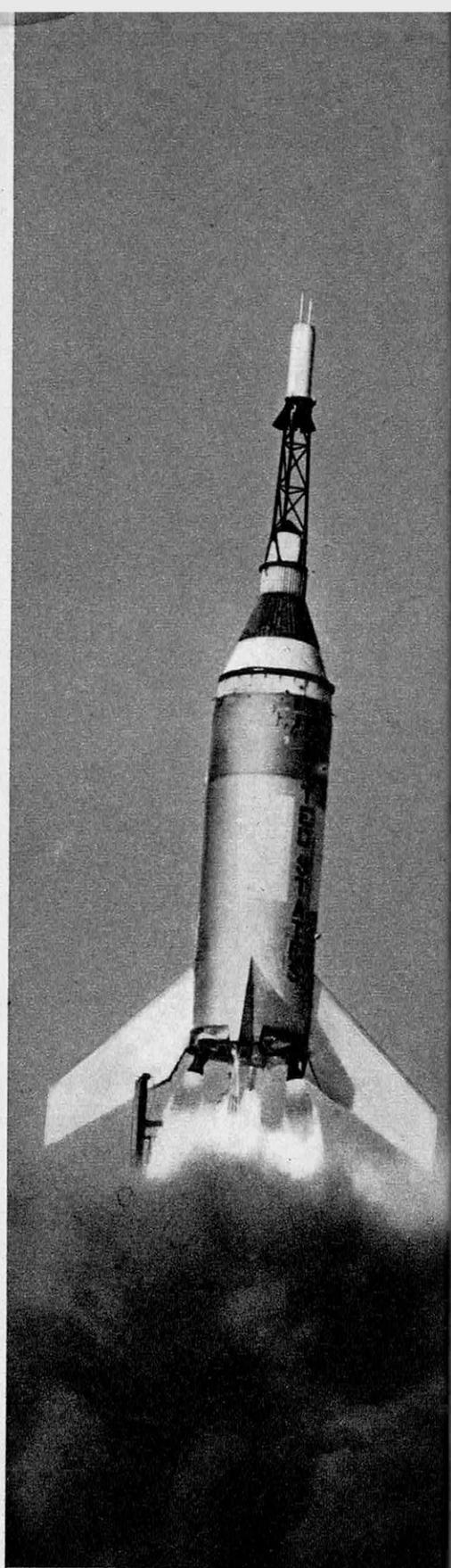
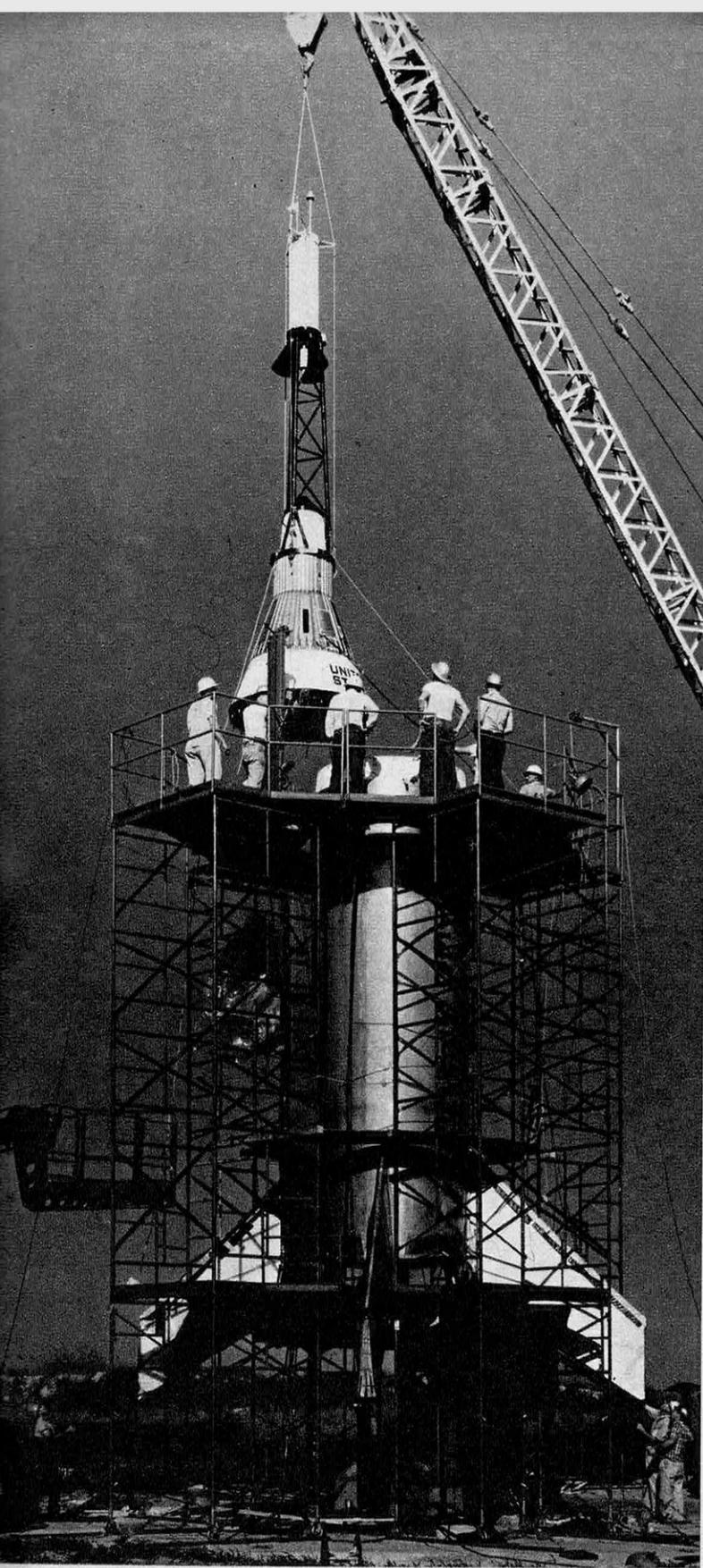


L'ÉPREUVE DE LA CHALEUR est subie par un nez de fusée dans ce cylindre chauffé par 225 lampes à quartz, chaleur équivalente à celle qu'il subirait lors de sa rentrée dans les couches denses de l'atmosphère.

Si la capsule de volume minimum et de surface frontale maximum résoud très bien le problème thermique, elle convient assez mal à la phase finale de l'atterrissage. Le parachute ouvert dans les basses couches de l'atmosphère, une fois la vitesse réduite au degré où il ne risquera plus de flamber, devient indispensable. Les possibilités de manœuvre et de choix d'un terrain sont exclues; l'accélération de freinage sera élevée, plusieurs fois celle de la pesanteur; l'engin sera déposé sur l'eau, à une vitesse qui dépassera largement celle des parachutes ordinaires, et avec une précision de quelques centaines de kilomètres seulement. Aussi a-t-on prévu

le retour des capsules du projet Mercury dans un vaste secteur de l'Atlantique, au large des Antilles, et attribue-t-on au projet soviétique le choix du Pacifique central pour les mêmes raisons, la température relativement élevée des eaux aidant à la survie du pilote pendant les quelques heures ou les quelques jours que demandera sa récupération.

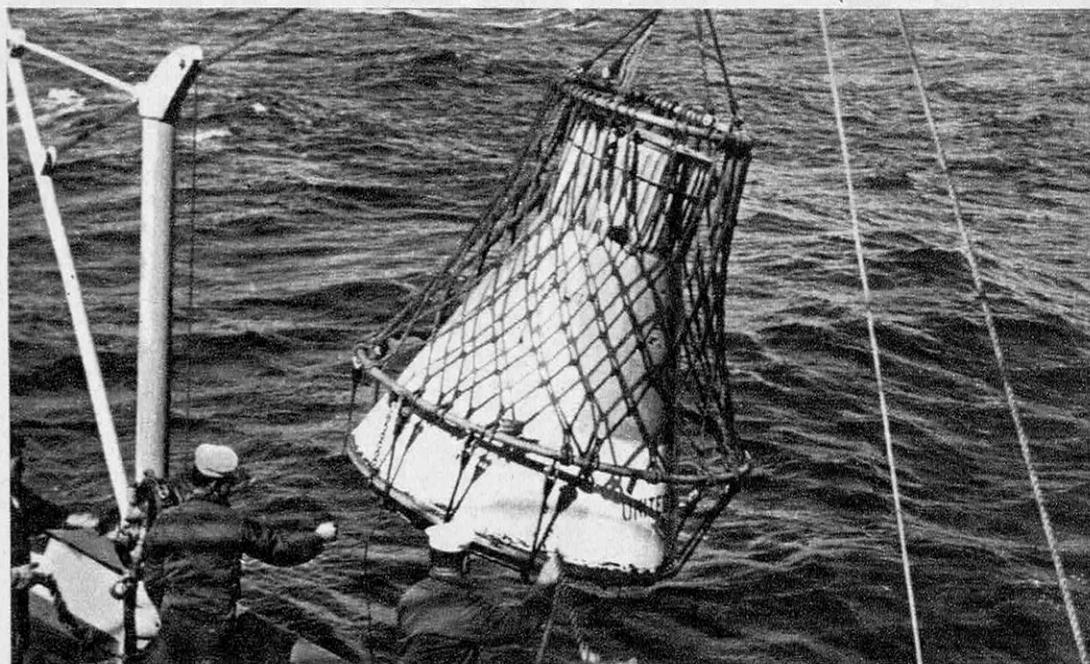
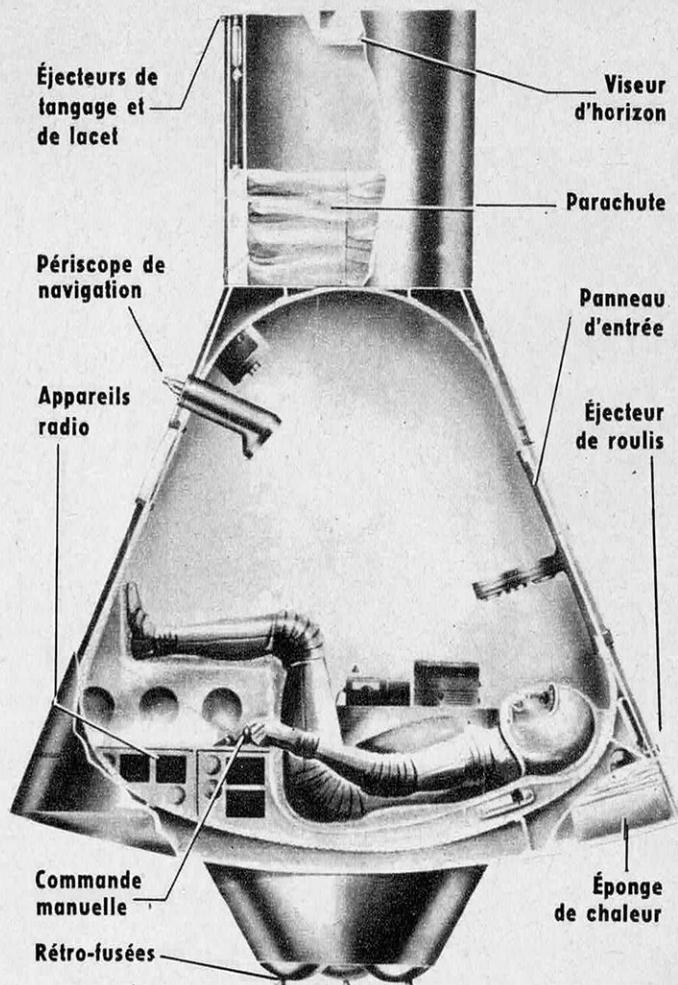
Peut-on assurer la rentrée avec les exigences habituelles d'un avion se posant sur un terrain choisi à l'avance, sans les accélérations élevées ni le choc à l'amerrissage d'une capsule? C'est le problème de la rentrée par planeur, que les États-Unis étudient



Les premiers essais des capsules Mercury se font avec des fusées « Little Joe » à Wallops Island.

Le projet Mercury

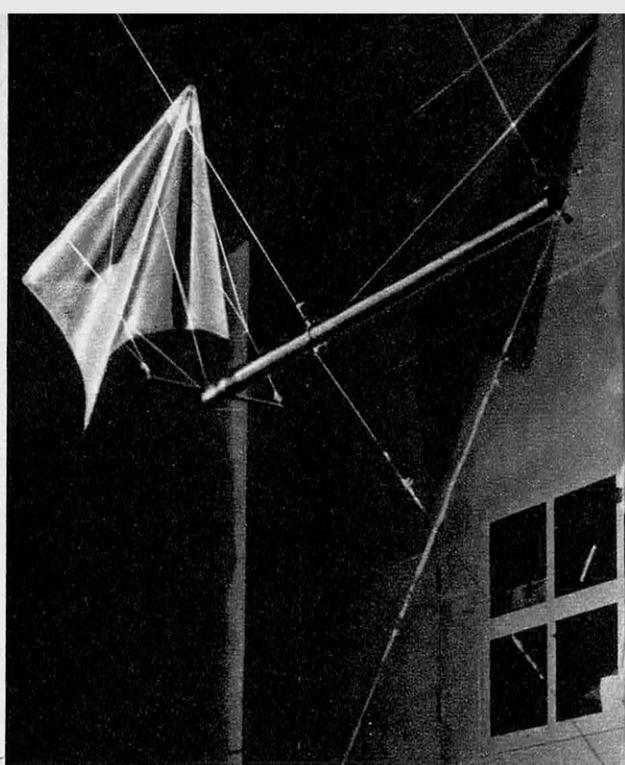
Le pilote est couché sur son siège spécial, de manière qu'il puisse mieux supporter les effets de l'accélération au départ comme ceux, plus grands, de la décélération à la rentrée. Une fusée de sécurité, montée à l'extrémité d'une charpente en treillis, visible sur les photos de gauche, peut être commandée soit par la base de lancement, soit par le pilote en cas d'incident au départ sur la fusée principale: elle éjecte la capsule à une hauteur suffisante pour que le parachute fonctionne. Trois jeux de tuyères à gaz comprimé permettent de contrôler l'orientation de la capsule sur sa trajectoire. Les rétro-fusées provoquent la rentrée en diminuant sa vitesse sur l'orbite, ce qui a pour effet de la rapprocher de l'atmosphère plus dense de la Terre où elle subit l'essentiel du freinage. La chaleur qui en résulte est absorbée par une plaque de béryllium isolée du siège. A l'arrivée dans la basse atmosphère, un immense parachute assure l'amerrissage, enfin des flotteurs se gonflent pour maintenir la capsule sur l'eau.



45 minutes après le lancement, la capsule est repêchée par l'US Navy.



LES SURFACES PORTANTES et les gouvernes arrière sont repliées au lancement pour former un cône de faible angle au sommet, fendu suivant une génératrice. Elles se déploient à la rentrée.

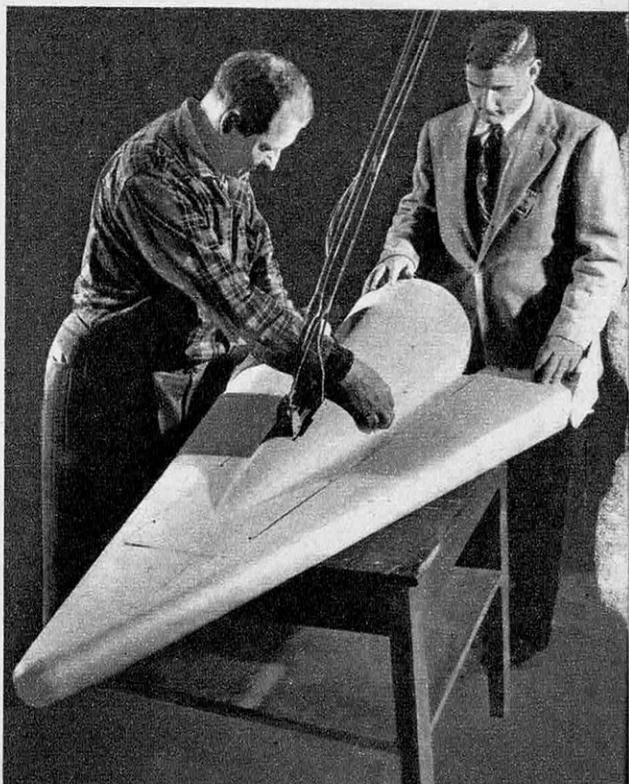
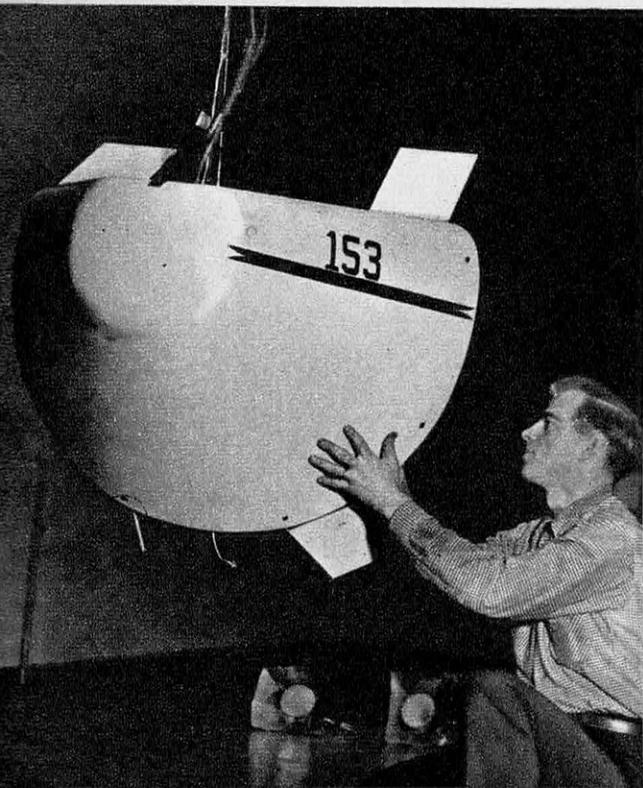


CETTE VOILURE FLEXIBLE est en fil métallique tissé recouvert d'un enduit à base de silicones. Elle est extraite au moment propice du container cylindrique voisin et est raidie par trois tubes gonflés.

Les capsules planantes aux essais

UN MINIMUM DE SUSTENTATION est demandé à cet engin tronconique complété par des éléments de gouvernes qui en assurent la maniabilité à la rentrée. L'atterrissage se fait par parachute.

L'ATTERRISSAGE AUTONOME est assuré par cette capsule en demi-cône, grâce à la voilure delta à très grande flèche qui la complète et qui lui assure une portance suffisante à des vitesses subsoniques.



avec le Dyna-Soar. Il faut alors consentir une voilure pour la sustentation, des gouvernes pour la manœuvre, se rapprocher en somme d'un avion avec sa finesse, sa grande surface exposée à l'échauffement, et évacuer par rayonnement la chaleur ainsi dégagée. La solution généralement proposée est une voilure en delta à très grande flèche, dont le bord peut alors être assez arrondi sans trop nuire à la finesse, et un fuselage avec également un ample arrondi d'ogive.

Le projet Mercury

La rentrée dans l'atmosphère par capsule spatiale a été étudiée au cours de l'année 1958 par le NASA. Le 7 novembre 1958, une conférence en exposait les grandes lignes aux constructeurs intéressés, une vingtaine. Les soumissions, remises le 4 décembre, ont abouti le 12 janvier 1959 à la commande du matériel à McDonnell.

Le nom de capsule donné aux États-Unis à cette première cabine spatiale traduit assez exactement sa forme. C'est essentiellement une calotte sphérique où le pilote sera appuyé sur son siège, le dos à l'avant. La stabilité à la rentrée dans l'atmosphère est assurée par un tronc de cône très court fermant la calotte sphérique sur l'arrière. La rétro-fusée de freinage est disposée derrière le dos du pilote de manière à éjecter ses gaz vers l'avant. Le parachute d'atterrissage est logé dans le compartiment cylindrique prolongeant à l'arrière le cône de la capsule. Le tout est destiné à être lancé par un engin intercontinental Atlas. Pour parer au risque de mauvais fonctionnement de l'Atlas au départ, une fusée de secours peut être allumée par le pilote; elle élève alors la capsule d'une hauteur suffisante pour que le parachute puisse la ramener sur l'eau à sa vitesse normale de descente.

Après fonctionnement de la rétro-fusée, qui pourra être soit télécommandée du sol, soit déclenchée par le pilote, le difficile problème de l'échauffement est résolu sur le principe de « l'éponge de chaleur », qui avait déjà été expérimenté sur le Thor et le Jupiter avant le choix définitif de ce procédé. Une plaque d'un métal très conducteur recouvre la calotte sphérique. Elle monte très rapidement en température mais sans incommoder le pilote, car elle est séparée du dossier de son siège par une isolation thermique. Sur le Thor et le Jupiter, on a choisi une plaque épaisse de métal cuivreux. Le NASA a accepté le luxe du béryllium, l'un des métaux les plus coûteux, qui réunit à un degré rare les qualités mécaniques et thermiques

exigées : sa chaleur spécifique vaut cinq fois celle du cuivre et du fer, deux fois et demie celle de l'aluminium.

Ramenée en un temps très court à la vitesse d'un avion transsonique sous une contre-accelération qui ne dépassera pas une dizaine de fois celle de la pesanteur, la cabine spatiale accomplira alors automatiquement le troisième stade de sa rentrée : l'ouverture du parachute qui déposera, toujours étendu sur son siège et sans doute un peu étourdi, le premier astronaute sur la Terre dont il aura fait plusieurs fois le tour.

Assurément le programme d'expérimentation ne prévoit pas dès le début la mise en place de la cabine vraie grandeur par un Atlas; ce serait trop risqué et trop cher. Une gamme d'essais préliminaires avec fusées de moindre tonnage et animaux d'expérience qui n'atteindront pas la vitesse de satellisation est prévue. Ils ont commencé dès 1959 et s'étaleront jusqu'en 1961.

Le Dyna-Soar, premier avion spatial

En partageant entre Boeing et Martin, le 9 novembre 1959, la commande si longtemps différée du Dyna-Soar, l'U.S. Air Force s'est lancée dans une entreprise autrement ardue que, l'année précédente, le NASA avec son projet Mercury.

Selon les déclarations officielles, le Dyna-Soar est un planeur hypersonique qui, par télécommande d'abord et avec pilote ensuite, explorerait au cours des prochaines années « les problèmes techniques et militaires associés au vol à des vitesses voisines de celles d'un satellite sur son orbite ». Boeing a reçu la commande du planeur; Martin celle du « booster », le véhicule à moteur-fusée, dérivé du Titan du même constructeur, qui mettra le planeur en place sur sa trajectoire de quelques milliers de kilomètres d'abord, sur son orbite ensuite. Le nom de Dyna-Soar, abréviation de « dynamic soaring », précise le comportement du matériel : la sustentation au cours du plané, du « soaring », est obtenue principalement par effet « dynamic », c'est-à-dire par la force centrifuge qui maintient en place le satellite sur son orbite et compense une fraction importante du poids aux vitesses un peu inférieures à celles de la satellisation.

Si le NASA a divulgué tous les détails du projet Mercury, l'U.S. Air Force a été beaucoup plus discrète quant à ceux du Dyna-Soar; on ne dispose guère comme guide que des multiples résultats d'essais sur le comportement aérodynamique et thermique des maquettes dans les souffleries du NASA.

La difficulté constructive réside à la fois dans les très hautes températures atteintes par la cellule et dans les inégalités de température entre ses différents points, provoquant des contraintes mécaniques inadmissibles avec le mode ordinaire de construction des voilures et des fuselages. Sur les profils d'aile convenables pour de telles cellules, les mesures du NASA indiquent, pour une température de $1\ 600^{\circ}\text{C}$ au bord d'attaque, que celle-ci tombe vers $1\ 350^{\circ}\text{C}$ sur le reste de l'intrados et au-dessous de 800°C pour l'extrados.

Différentes solutions ont été proposées pour une cellule travaillant dans de telles conditions. Si l'on accepte d'emporter un poids d'eau suffisant, on peut, en la vaporisant, homogénéiser la température et l'abaisser au-dessous d'une centaine de degrés. On peut encore intercaler entre le revêtement et la structure résistante un isolant tel que celle-ci ne dépasse pas les quelque 500°C où les aciers spéciaux conservent d'excellentes caractéristiques mécaniques. Enfin, certains ne reculent pas devant des charpentes sans isolation portées à $1\ 200^{\circ}$ ou $1\ 300^{\circ}\text{C}$.

De toute façon, le bord d'attaque des ailes et la pointe avant du fuselage devront faire l'objet d'un traitement spécial. Les céramiques et le graphite sont en concurrence, ce dernier l'emportant jusque'ici.

Du point de vue confort de l'équipage et des passagers futurs, la différence dans les longueurs de freinage entre une capsule Mercury et un Dyna-Soar se traduira par une même différence dans les accélérations. Sur sa trajectoire de retour de quelques centaines de kilomètres, le pilote de la capsule sera plaqué contre le dossier de son siège par une force égale au maximum de ce qu'il peut supporter, dix à douze fois son poids. Au contraire, sur une trajectoire de retour étalée sur la moitié de la circonférence terrestre, le freinage n'imposera aux occupants d'un planeur qu'une contre-accelération moyenne du sixième de la pesanteur, très inférieure à celle d'un freinage d'automobile.

Comme pour les capsules du projet Mercury, on multipliera les essais avant de confier à un pilote un Dyna-Soar sur trajectoire de satellite. La formule du lancement par fusée d'un planeur s'applique en effet très bien à des vitesses assez inférieures à celle d'un satellite. Dès la seconde guerre mondiale, l'ingénieur allemand Saenger avait proposé sur ce principe un bombardier « antipodal », rentrant de sa mission après quelques ricochets sur l'atmosphère au cours desquels il aurait fait un tour complet de la Terre. On a présenté depuis de nombreux projets ne

demandant que des performances moins ambitieuses, par exemple des services transatlantiques où le planeur et ses passagers constitueraient le deuxième étage d'un avion-fusée rentrant à l'aéroport de départ après l'avoir lancé. Selon les déclarations de l'U.S. Air Force, les essais du Dyna-Soar débuteraient avec des vitesses de $5\ 300\text{ km/h}$, donc inférieures même à celles du X-15.

Les matériels à l'étude

Tout en rentrant dans les deux formules opposées de capsules ramenées au sol ou à la mer avec l'aide d'un parachute, et de planeurs atterrissant sur une piste d'aérodrome, d'autres projets ont été préconisés et continuent d'être présentés. Ils pourraient marquer un progrès sur ceux qui viennent d'être décrits. L'exposé sommaire des recherches faites dans d'autres voies est d'autant moins inutile que l'U.R.S.S., qui n'a donné aucune précision sur les siennes, a pu retenir des réalisations assez différentes de celles des États-Unis.

Le principe de « l'éponge de chaleur » appliqué à la capsule est assez lourd. La chaleur spécifique des métaux est faible; la quantité de chaleur qu'ils absorbent en portant leur température vers $1\ 200$ à $1\ 500^{\circ}\text{C}$ est très au-dessous de celle qu'absorberait l'échauffement et la volatilisation de divers produits utilisables à la même fin. Aussi considère-t-on comme un gros progrès d'avoir remplacé la plaque d'alliage cuivreux qui protégeait la charge nucléaire des engins balistiques par un feuilleté de plastique dont les éléments successifs se volatilisent à la rentrée. La proposition, faite pour le Mercury à une époque où le revêtement en plastique faisait ses premiers essais, n'avait pas été retenue faute d'expérimentation concluante. Elle apporterait certainement une économie de poids notable. La plaque de béryllium du Mercury pèse 180 kg et l'allègement de cette plaque se répercuterait sur le poids nécessaire à la fusée de secours (315 kg), à la fusée de freinage (75 kg), au parachute d'atterrissage (90 kg)... On pourrait faire gagner quelques centaines de kilogrammes.

On a proposé également de produire le freinage de la capsule par un parachute métallique. Le projet émane de l'Avco, un constructeur américain d'ogives pour engins, qui l'a présenté en septembre 1959 au X^e Congrès International d'Astronautique de Londres. La difficulté porte beaucoup moins sur le parachute lui-même que sur les suspentes travaillant en tension, qui flamberaient les premières. Le dispositif retenu les élimine.

La capsule pyramidale →

Ce véhicule spatial est proposé par la firme aéronautique anglaise Hawker Siddeley. Au départ, placée à la partie supérieure d'une fusée, la capsule a une forme rigoureusement symétrique qu'elle abandonne dès qu'elle a été installée sur orbite (dessin ci-contre), pour offrir à la rentrée une surface portante en delta et des gouvernes permettant un atterrissage autonome. Poids total : 1 889 kg.

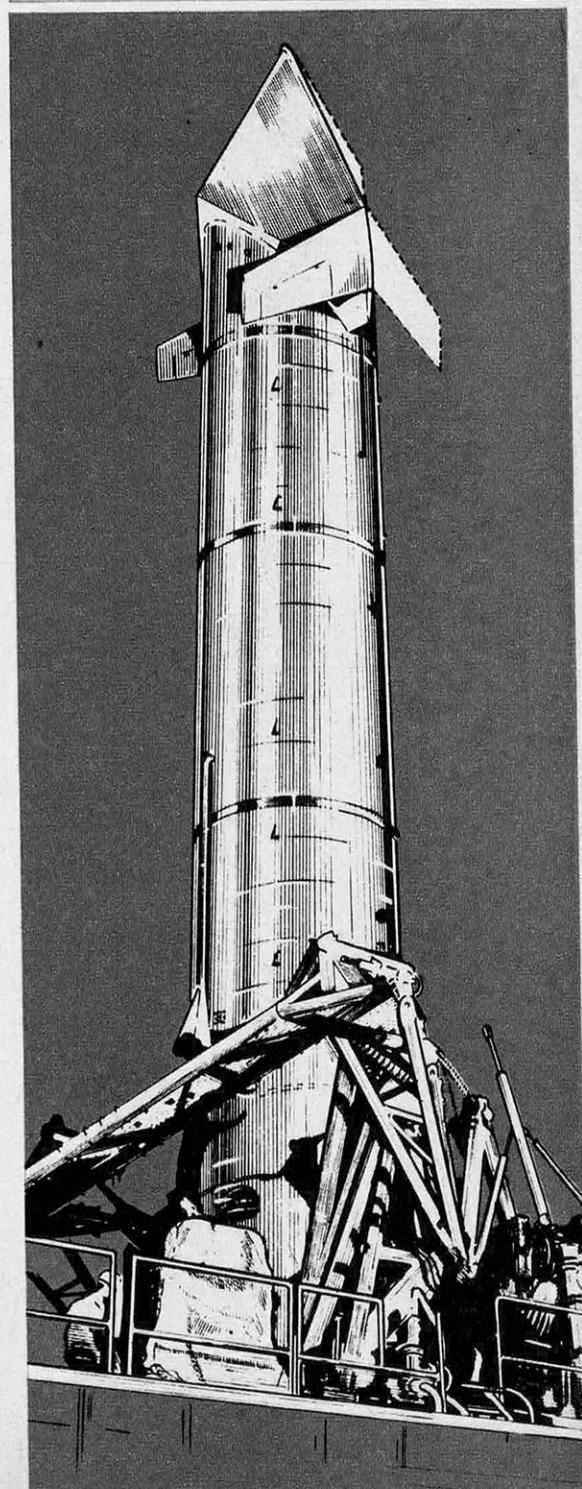
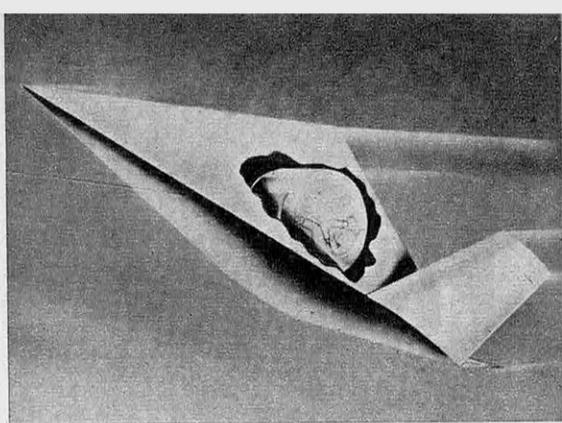
C'est une sorte de parapluie, aux nervures en treillis, dont l'ouverture serait même réglable et donnerait ainsi quelques possibilités de manœuvre; la surface en serait calculée pour qu'il puisse servir à l'amerrissage. Le constructeur estime qu'il améliorerait sa précision et réduirait le poids au départ de la capsule de 1 360 à 1 040 kg, par suppression de la rétro-fusée, de la plaque protectrice en béryllium, etc. Il annonce avoir obtenu une première expérimentation sur engin.

Si l'on préfère la rentrée en planeur, le calcul montre que l'échauffement est d'autant plus faible que la surface portante est plus développée. Ne pourrait-on pas, avec des surfaces portantes gonflables très peu chargées, limiter la température à celle que peuvent supporter les matériaux constructifs de telles cellules ? L'étude a été faite par Goodyear, à partir d'une toile métallique en alliage de nickel recouverte par un caoutchouc synthétique. Deux projets comportent des charges alaires de 5 kg/m² et 2,5 kg/m² respectivement; le second, en biplace, aurait une voilure en delta de 30 m de largeur et 60 m de longueur, presque celle des petits dirigeables de la marine américaine. À condition de répartir le freinage sur plusieurs fois le tour de la Terre, on pourrait ainsi ramener la vitesse du véhicule des 29 000 km/h d'un satellite à une valeur subsonique entre 90 000 et 60 000 m d'altitude. Même ainsi, l'échauffement reste notable et atteindrait près de 800° C. La difficulté porte surtout sur le réemploi du véhicule, dont le caoutchouc devient cassant après chauffage et refroidissement.

D'autres suggestions étudiées dans les centres de recherches du NASA, visent un accroissement de surface portante, dans de moindres limites, par des voilures déployables.

Enfin, le NASA expérimente également une solution intermédiaire entre la capsule et le planeur : on donnerait à la capsule une certaine sustentation avec un intrados plan, de manière à réduire l'accélération supportée par le pilote au freinage.

Camille ROUGERON



La vie existe-t-elle

Sur Mars ou Vénus, ou sur d'autres mondes stellaires ?

POUR s'être publiquement interrogé là-dessus, le moine philosophe et astronome Giordano Bruno fut tout aussi publiquement brûlé le 17 février 1600, sur la place des Fleurs à Rome. En 1924, Guglielmo Marconi craignait de se discréditer en révélant qu'il écoutait attentivement les « signaux de l'espace ». 360 ans après le martyr de Giordano Bruno, le professeur Otto Struve et son adjoint le docteur Frank Drake pointaient l'antenne du radiotélescope de Green Bank, en Virginie occidentale, vers deux étoiles aux noms gréco-latins : Tau Ceti et Epsilon Eridani. Le but de l'opération, actuellement en cours, est de chercher d'éventuels messages qu'enverraient les habitants des planètes gravitant autour de cette étoile. Ainsi démarrait un projet, le 1^{er} janvier 1960 exactement, qui, il y a dix ans encore, eût fait sourire ou grincer des dents. Cet assez troublant projet, baptisé Ozma, apparaît aujourd'hui comme l'entreprise scientifique la plus désintéressée de l'histoire de la science. Et que désignent les initiales Ozma ? Ce ne sont pas des initiales, mais le nom d'une reine de conte de fées américain.

En plaçant ainsi l'entreprise sous le signe de la poésie, les astronomes américains témoignent bien que, dans leur esprit, elle touche à la philosophie. Pourquoi chercher des compagnons dans le cosmos ? Il serait difficile d'imaginer des applications stratégiques à d'éventuels rapports avec d'autres mondes ; il semblerait plutôt qu'à mesure que s'accroît sa domination sur la Terre, l'homme cherche d'autres horizons pour son esprit de conquête...

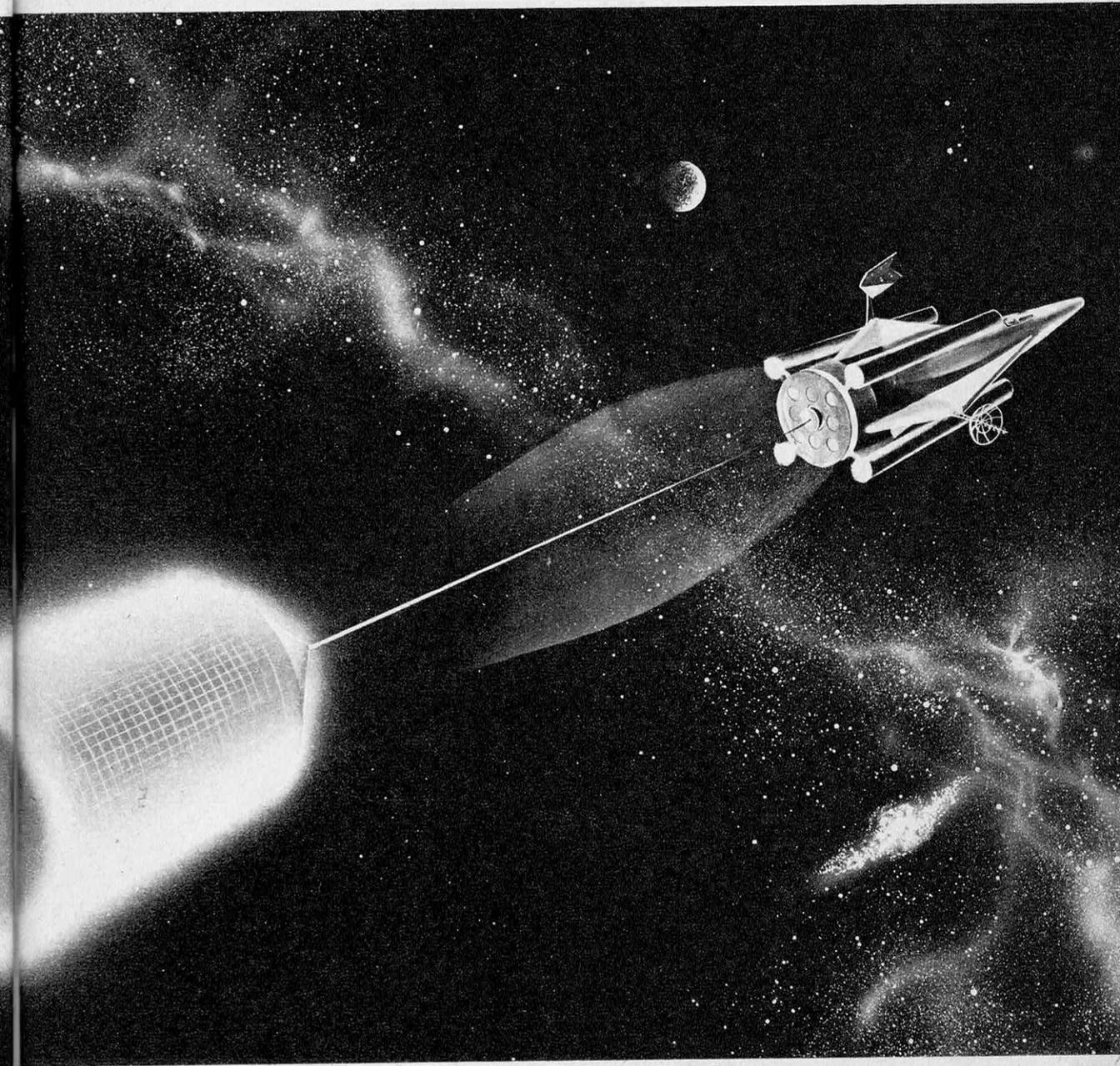
En cherchant à déterminer si la vie existe « ailleurs », ce conquérant universel songe-t-il à des formes de vie évoluées, anthropomorphiques ? Ou bien à toute activité biologique digne d'être qualifiée de « vie » ? Les uns, audacieux, parfois ingénus, espèrent

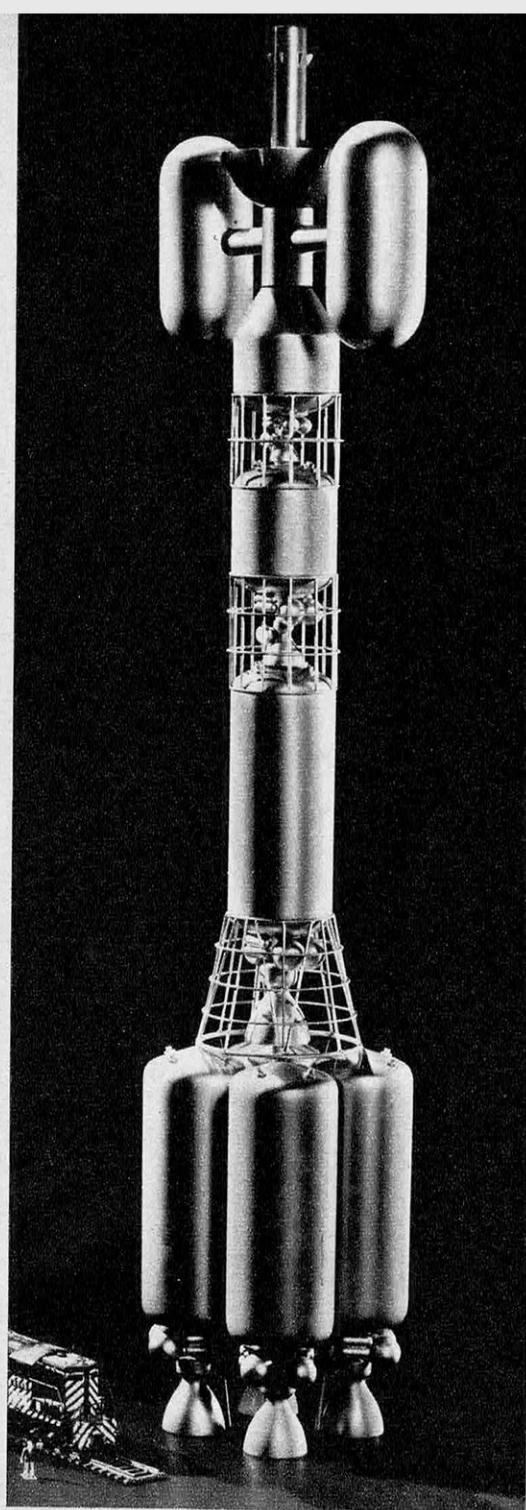
Pour atteindre d'autres planètes →

Solution proposée par Lockheed : un véhicule spatial à propulsion ionique, alimenté en énergie électrique par un réacteur nucléaire remorqué. Porté à plus de 2 000°, le réacteur est entouré de cellules thermoioniques fournissant 1 000 kW par un câble coaxial qui éloigne les astronautes des radiations dangereuses.



sur d'autres planètes ?





Une fusée pour Mars

Projet du NASA : une fusée chimique à quatre étages capable de transporter un équipage de huit hommes d'une orbite de satellite terrestre à une orbite autour de Mars et retour sur la première orbite, avec éventuellement descente d'un des étages intermédiaires sur le sol martien pour son exploration.

trouver ailleurs des « humanoïdes ». Les autres, plus réservés, se contentent de penser que toute forme de vie, même élémentaire, relevée sur d'autres planètes, sera précieuse pour la science terrestre.

D'abord, le système solaire...

Précédant le projet Ozma de plusieurs mois, deux séries de travaux sur les possibilités de vie sur Mars et sur Vénus viennent d'enrichir considérablement nos connaissances. Les travaux sur Mars sont russes, les travaux sur Vénus américains, quant à l'essentiel.

« Phobos, l'une des deux lunes de Mars, est creux, déclarait le 1^{er} mai 1959 l'astrophysicien soviétique I.S. Chklovski. S'il est creux, ce satellite est donc artificiel. » Cette déclaration révolutionnaire se fondait sur les faits suivants : la période de révolution de Phobos diminue d'année en année d'une quantité très supérieure aux erreurs possibles d'observation, alors que la période de Deimos, compagnon de Phobos, paraît n'avoir que très peu varié depuis le siècle dernier. C'est-à-dire que le mouvement angulaire de Phobos s'accélère, et que, selon la III^e loi de Kepler, ce satellite tombe vers la planète. Quelle serait la cause de cette accélération ? On a d'abord supposé que c'était l'attraction du bourrelet équatorial de Mars ; or, ce bourrelet, assez faible, pourrait expliquer l'accélération de Deimos, mais certainement pas celle de Phobos.

On a ensuite supposé que Phobos contenait de grandes proportions de nickel-fer, et que c'était le magnétisme de Mars qui contribuait à accélérer la rotation propre initiale de Phobos ; mais on ignore si Mars possède un champ magnétique appréciable, et M. Chklovski assure que, dans l'hypothèse la plus favorable d'un satellite métallique, ce champ magnétique resterait 10 000 fois trop faible pour expliquer les anomalies du mouvement de Phobos.

Enfin, on a examiné l'hypothèse d'un frottement de Phobos sur la très haute atmosphère de Mars, à quelque 6 000 km de la surface. La gravité sur Mars étant beaucoup plus faible que sur la Terre, la pression atmosphérique au sol a été évaluée entre 1/12 et 1/15^e de la pression terrestre, mais elle décroît beaucoup moins vite ; c'est-à-dire qu'à 30 km environ de la surface, elle est plus grande que sur la Terre à la même altitude. Il n'en reste pas moins qu'à 6 000 km, sa densité est extrêmement faible et que la force de freinage ne peut plus être invoquée que pour un corps très peu dense. Il faudrait supposer que Phobos, dont le diamètre n'excède pas une quinzaine de kilomètres, pèse

quelques centaines de millions de tonnes, c'est-à-dire que la densité de ce corps soit inférieure à celle de l'air !

Aurait-on mal calculé le diamètre de Phobos ? Mais si on le double ou le quadruple, la différence reste quand même énorme. S'appuyant sur le fait qu'aucun corps solide massif ne possède, autant qu'on en sache sur Terre, une densité inférieure à l'air, M. Chklovski en est tout naturellement conduit à l'hypothèse que Phobos est creux. « Ce serait, écrit-il, un satellite artificiel lancé par les Martiens il y a deux milliards d'années... »

Voici mieux : un confrère soviétique de M. Chklovski, M. V. Bronstein, directeur du Planétarium de Moscou, est entré en lice avec des précisions nouvelles. Dans le n° 12 de 1959 de notre homonyme russe « Science et Vie », M. Bronstein affirme qu'il a fait pour le passé le calcul de l'orbite de Phobos ; il a trouvé qu'il y a 450 millions d'années, cette orbite a traversé une zone d'instabilité où les marées solides de la croûte martienne auraient dû expulser le satellite de son orbite. Donc, Phobos ne tourne autour de Mars que depuis 450 millions d'années.

Or l'âge de Mars est estimé à 5 milliards d'années. La planète aurait-elle capté un astéroïde errant dans l'espace ? Cela paraît à la plupart des astronomes hautement improbable, bien qu'au télescope ce satellite apparaisse d'une nature différente : il est blanc, alors que Mars est rougeâtre (Deimos est bleuâtre). Force est donc, jusqu'à plus ample explication, de supposer que Phobos est bien creux et artificiel.

La meilleure explication, certes, nous sera fournie par les photos que les Russes promettent de faire prendre par un satellite martien en 1962... à moins que les Américains les devancent ! Jusqu'alors, il faudra se contenter de considérer que les seules traces de vie sur Mars sont celles d'une vie élémentaire. Les travaux que l'on poursuit sur ces traces, tels que ceux de l'astronome américain F. Sinton, de Harvard, ne permettent certes pas de conclure que Mars soit peuplé d'êtres vivants anthropomorphes avec lesquels nous puissions jamais communiquer ; mais leur intérêt scientifique n'en demeure pas moins profond, puisqu'ils reposent le problème de la vie et de l'intelligence.

De Proxima Centauri à Tau Ceti : une quête incertaine

Des compagnons ! Quelqu'un là-haut ? La quête, encore infructueuse sur Mars, se poursuit sur d'autres planètes, visibles et, surtout, invisibles.

Les visibles d'abord. Dans les derniers jours de décembre 1959, deux astronomes américains, les docteurs Donald H. Mensel et Fred L. Whipple, montèrent jusqu'à 26 000 m en ballon fermé pour observer la planète Vénus. « Elle semble recouverte de vapeurs d'eau, rapportèrent-ils, mais il se pourrait bien qu'elle n'ait pas de continents... et qu'elle soit recouverte de soude en fusion ! » Un autre astronome, le Dr Frank Drake, du célèbre observatoire de Green Bank, déclara que depuis qu'il observait la planète, il y avait trouvé une température constamment voisine de 300°. Cependant, les régions supérieures des couches nuageuses accuseraient une température de — 40°, aux environs de 30 000 m d'altitude. A moins de supposer que les humanoïdes vénusiens vivent perchés à une altitude intermédiaire, il paraît, là encore, difficile de supposer qu'une vie intelligente ait pu se développer dans les conditions qu'on sait.

Jupiter ? Saturne ? On n'y a pas encore décelé d'indices analysables ou favorables. Ailleurs, alors ? Cette quête-là a commencé dès 1938. C'est l'année où l'astronome suédois Holmberg, étudiant les plaques de parallaxe des étoiles les plus voisines de nous, fit une constatation troublante. Ces plaques, qui sont des relevés photographiques exécutées à plusieurs époques de l'année et qui permettent de juger les variations des étoiles dans leurs positions respectives, accusaient des perturbations singulières ; tout se passait comme si ces étoiles étaient déviées dans leurs courses par des satellites exerçant sur elles leur attraction. Des satellites obscurs comme ceux-là étaient sans doute des planètes, conclut Holmberg. Et, en calculant, selon la loi de Newton, les rapports entre les déviations relevées pour l'étoile Proxima Centauri, par exemple, et la masse possible de son satellite, il conclut que celui-ci devait avoir une masse comparable à celle de Jupiter. Ainsi naquit une science nouvelle, l'astrométrie.

En 22 ans, l'astrométrie s'est suffisamment développée pour que certains astronomes puissent évaluer à quelque 100 000 le nombre de planètes sur lesquelles il y a des chances de trouver une vie évoluée ; certaines estimations haussent le chiffre à 15 millions ; en vérité, personne n'en sait rien.

Cependant, les savants fondent sur ces calculs spéculatifs l'espoir que des êtres doués d'intelligence et maîtres de techniques comparables aux nôtres, surtout dans le domaine des télécommunications, fassent les mêmes raisonnements qu'eux. C'est pourquoi, à Green Bank, les professeurs Cocconi et Mor-

raison adressent à l'univers des messages courts découpés selon un rythme mathématique — car on suppose que les mathématiques sont un langage universel. Ces messages sont diffusés sur une longueur d'onde de 21 cm. Pourquoi cette longueur d'onde ? C'est qu'elles sont celles-là mêmes sur lesquelles les atomes d'hydrogène flottant dans l'espace interstellaire émettent leurs ondes, et qu'elles sont les plus répandues dans la gamme des émissions « spatiales ». Coccioni et Morrison en déduisent que toute civilisation technique évoluée sur d'autres planètes se sera aperçue de ce caractère particulier; et que, si elle tente, elle aussi, du côté de Proxima Centauri, par exemple, d'entrer en contact avec des planètes distantes, elle emploiera cette longueur d'onde et cette fréquence.

Elle les emploie peut-être déjà... Dans cet espoir, les radiotélescopes de Green Bank et de quelques autres stations — Jodrell Bank s'est déclaré trop occupé pour cela — enregistrent jour et nuit les émissions cosmiques et tentent, selon les méthodes éprouvées des services de contre-espionnage, d'y déceler un quelconque message.

Jusqu'ici, cependant, on n'a relevé aucun appel digne de faire tressaillir les Terriens...

Intelligence terrienne... et d'ailleurs

Les prophéties partiellement réalisées de la science-fiction dans ces trente ou quarante dernières années ont induit un certain nombre d'auteurs scientifiques à émettre des hypothèses très audacieuses concernant les possibilités de vie sur d'autres planètes. Énoncées *sotto voce*, ces théories n'ont évidemment reçu aucune approbation d'autorités telles qu'un Oppenheimer, un de Broglie, voire un Sedov (les Russes sont particulièrement hardis dans leurs hypothèses); les maîtres à penser de la science trouvent leurs problèmes déjà suffisamment ardu... Même en se méfiant de cette prudence il paraît difficile, pour le moment, d'admettre l'existence, à quelques dizaines d'années lumière, d'êtres supra-humains, gazeux et omniscients, par exemple : cette utopie vaut à peu près celle du Bon Sauvage de Rousseau.

Mais un nombre important de chercheurs ont nuancé la question : « La vie existe-t-elle sur d'autres planètes ? » ; ils l'ont remplacée par celle-ci : « L'intelligence est-elle nécessairement anthropomorphe ? » Au lieu de chercher ailleurs des humanoïdes, déclarent-ils en gros, il serait peut-être plus sage de se demander quel est, ailleurs, le chemin de l'évolution biologique : conduit-il nécessairement à l'homme ? Des formes d'intelligence réelle ne

peuvent-elles exister dans des formes de vie dites « inférieures » ?

La vie existe presque certainement sur Mars, par exemple : les variations saisonnières, de forme et de couleurs, des fameuses taches vivantes, ne sont plus contestées. En 1956 et en 1958, Sinton a conclu, après interprétation biochimique, que ces taches étaient de nature non seulement organique, mais encore, « végétale », et que les « végétaux » en question contenaient probablement de grandes quantités d'hydrates de carbone; ils ressembleraient à une algue, la Cladophore, dont le spectre d'absorption est à peu près semblable.

Sur Mars, la vie existe peut-être, mais les conditions de vie supposée sont si rudes qu'on peut douter qu'elle ait atteint un stade supérieur : pas d'eau (vraisemblablement), une pression atmosphérique très faible (1/12 de la pression terrestre au sol), de fortes variations de température...

Et ailleurs ? Sur Vénus ? Que peut-on espérer trouver ?

Or, la base militaire américaine de Randolph nous a récemment fourni des réponses à ces questions. La vie peut s'adapter à des conditions extrêmement dures, plus dures en tout cas que sur Mars, et quelques exemples parfaitement terrestres nous le prouvent. Certains moustiques, rappelle le professeur Rémy Chauvin, prolifèrent dans l'eau des geysers d'Islande, par une température de 55° ! Leurs larves, elles, supportent fort bien la congélation sans en souffrir et se développent tout comme les larves des moustiques d'Afrique. Le « cafard des neiges » ou *Crylloblatta* ne vit que dans la glace des névés, mais meurt si l'on élève la température; comment se nourrit-il ? Mystère. Récemment, les bases américaines et russes ont découvert à l'Antarctique des puces de 3 mm de long, survivant dans des températures extrêmes. La mouche *Psilope* barbote sans inconvénients visibles dans le pétrole et ses larves s'y développent harmonieusement; elles renferment même des symbiotes qui hydrolysent tout simplement la paraffine ! Les entomologistes savent que certains papillons, tels que les *Zygènes*, supportent d'être plongés dans l'acide cyanhydrique sans que celui-ci bloque l'oxygène à l'intérieur de leurs tissus...

Et sur Vénus ? Le Dr Harrison Brown, de l'Institut de Technologie de Californie, estime fort probable qu'une vie particulière puisse exister dans les brûlantes vapeurs d'eau de l'atmosphère de Vénus; « une faune d'invertébrés, précise-t-il, n'est pas inconcevable »... Ce serait, en tout cas, une faune assez résistante...

Fusée à propulsion nucléaire →

Proposée par le NASA pour les explorations interplanétaires, cette fusée comprend : en haut la capsule de l'équipage, en bas le réacteur, au centre les réservoirs d'hydrogène liquide protégés par des écrans contre le rayonnement solaire et celui du réacteur.

Adaptée à des circonstances plus modérées, sur des planètes moins inconfortables, une vie différente de la nôtre ne mériterait-elle pas l'épithète d'« intelligente » ? Est-il vrai, pour paraphraser Teilhard du Chardin, que l'évolution tend à rendre l'homme de plus en plus indépendant de son milieu ? Cette évolution est-elle en progression constante et conduit-elle nécessairement à une « sur-humanité » ? Ou bien comporte-t-elle aussi un stade de régression et dégénérescence où le dernier mot doit appartenir aux insectes et aux lichens ?...

Telles sont les questions, bien moins « science-fiction » que les premières, auxquelles les chercheurs de tous ordres espèrent trouver une réponse ailleurs...

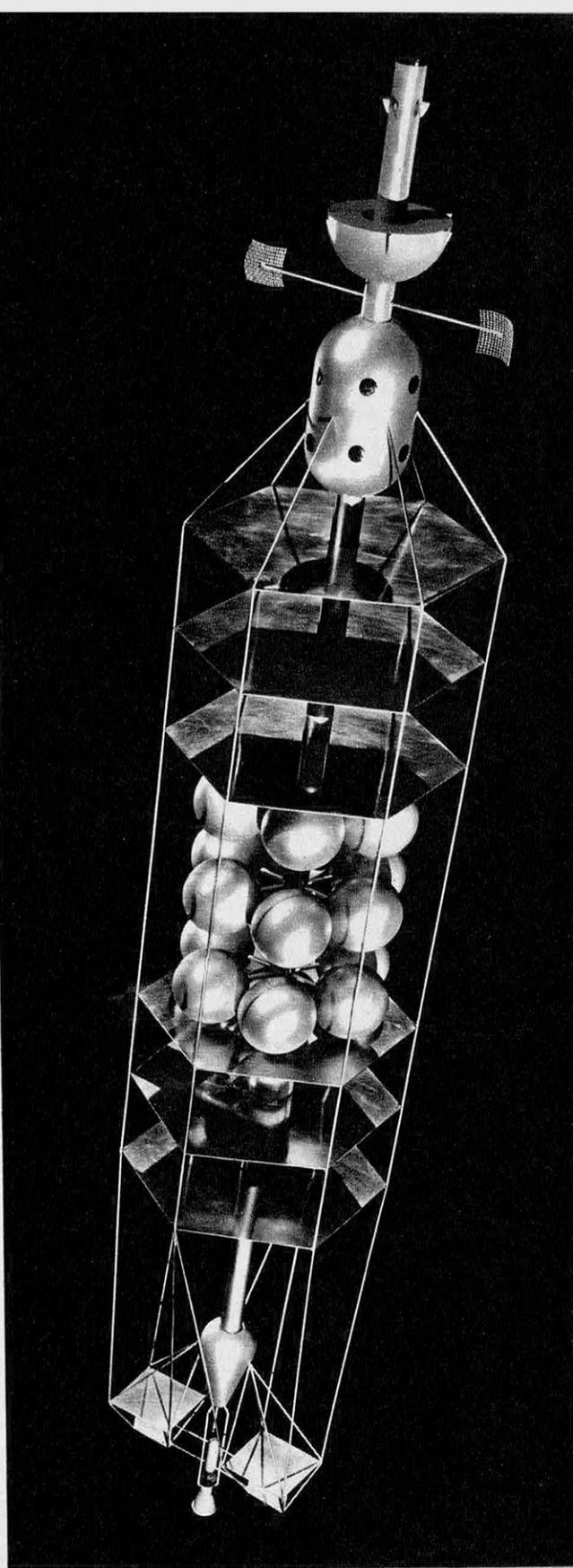
Lors du lancement du « Projet Ozma », le Dr Drake, de Green Bank, surprit beaucoup ses confrères internationaux en déclarant à la presse que « si des hommes existaient ailleurs, il leur demanderait le secret de la guérison du cancer ». La science orthodoxe témoigne une autre attitude : ce qui doit dicter la recherche de la vie sur d'autres planètes, est le désir de mieux comprendre la vie terrestre.

Il est vrai que les partisans de l'extraordinaire gardent toujours quelques armes intactes pour défendre la théorie d'une civilisation technique extraordinairement évoluée, située à plusieurs années lumière de la Terre et observant même celle-ci d'assez près. On a assez discuté du mystère des soucoupes volantes, par exemple. La moins troublante de toutes les « pièces à conviction » de ces auteurs n'est pas un certain parallélépipède exposé au Museum de Salzbourg : découvert en 1886 par le physicien autrichien Gurlt enchâssé dans un bloc de charbon, il pesait 785 g et mesurait $67 \times 67 \times 47$ mm (*) et ses arêtes étaient parfaitement régulières ; il provenait d'une couche de charbon de l'Ère Tertiaire, et c'était de l'acier... Son origine, évidemment, peut faire rêver, douter.

Mais le doute, n'est-ce pas encore le meilleur moteur de la science ?

Georges MESSADIÉ

(*) Nature 1886, n° 35, p. 36



Expéditions vers les ASTRES LOINTAINS

LES dessins d'astronefs pour expéditions spatiales lointaines dressés depuis Jules Verne et Wells, pour ne pas remonter à Cyrano de Bergerac, sont difficilement dénombrables. Certains, même parmi les plus récents, sont manifestement fantaisistes et font plus honneur au talent de l'artiste qu'à ses connaissances techniques. D'autres, par contre, sont l'œuvre de savants et d'ingénieurs compétents; s'il y en a toujours une large part d'imagination, voire d'anticipation, ils ne dépassent guère les limites du vraisemblable, sinon du probable.

Tout le monde s'accorde que notre science actuelle est insuffisante pour préparer l'envoi d'une équipe sur la Lune dans des conditions de sécurité acceptables et que l'homme ne peut se risquer hors du globe terrestre que pas à pas. Mais on a déjà construit la capsule dans laquelle le premier astronaute effectuera quelques révolutions autour de la Terre sur une orbite de satellite. Il est naturel que l'on songe aux étapes suivantes, même si l'on n'ose chiffrer le délai qui nous en sépare, parce qu'apparaissent mieux, à l'expérience et à la réflexion, les difficultés à surmonter.

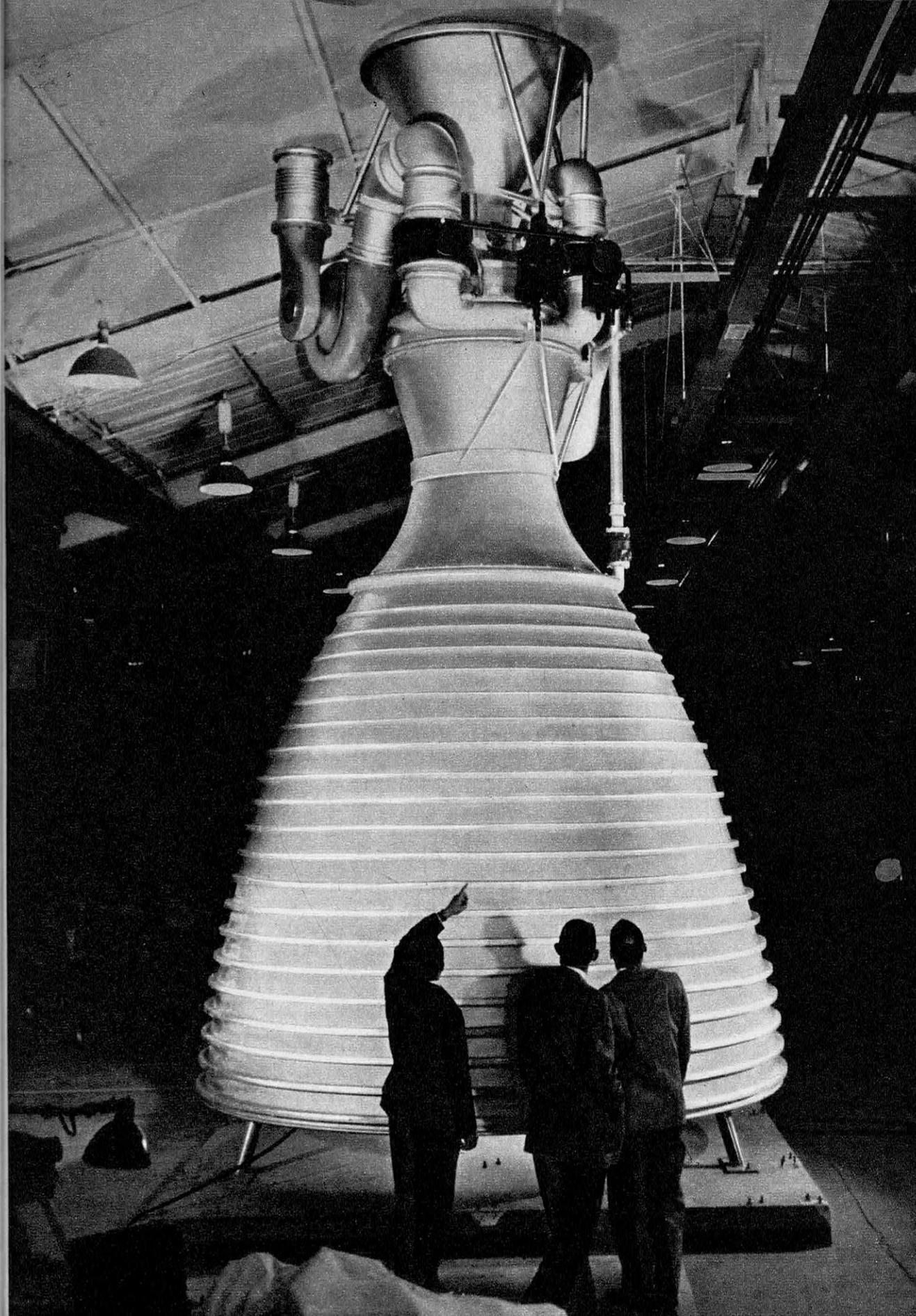
De même que les satellites artificiels lancés jusqu'ici, les premiers astronefs pour voyages lointains n'emporteront que des instruments d'observation, des enregistreurs et des émetteurs pour assurer la liaison avec la Terre. Grâce à l'expérience acquise depuis les premières fusées de sondage de la haute atmosphère, on sait bien à quelles épreuves ces

instruments toujours délicats doivent résister : accélérations au départ pouvant atteindre 20 g avec les fusées à propergols liquides, 100 g avec celles à propergols solides, vibrations intenses pendant le fonctionnement des propulseurs, couvrant une large gamme de fréquence avec de graves risques de résonance destructrice, décélération brutale et échauffement à travers les basses couches de l'atmosphère au retour. Pendant les vols libres, ce sera l'absence complète de pesanteur apparente, l'exposition au rayonnement intégral du Soleil, l'irradiation par des flux de particules chargées, en particulier à la traversée des ceintures de radiations de Van Allen, le bombardement par micrométéorites. Il ne semble pas que l'on rencontre là de difficultés majeures. La principale est d'assurer tant aux instruments de mesure qu'aux émetteurs une sécurité de fonctionnement poussée à l'extrême afin que l'automatisme de leurs opérations se maintienne sans défaillance le plus longtemps possible.

Un problème capital, et qui reçoit depuis quelque temps une attention particulière, est

1 000 tonnes de poussée →

Les futures missions lointaines aux planètes exigeront des fusées à étages multiples dont le premier, vu la masse à lancer, devra développer une puissance considérable. Voici la maquette d'un moteur-fusée géant.



celui de l'alimentation en énergie du véhicule spatial. Les besoins sont déjà importants, même sur les satellites purement instrumentaux; ils le deviendront beaucoup plus lorsqu'à bord d'un astronef il faudra alimenter l'équipement indispensable pour la vie de l'équipage, et plus encore si, pour des missions vers les planètes, on envisage la propulsion par éjection d'ions ou de plasma.

Énergie solaire ou nucléaire

La source d'énergie doit être sûre, légère et on la souhaiterait volontiers inépuisable. On pense tout de suite au Soleil. Les cellules photovoltaïques ont fait de grands progrès et leur rendement est constamment amélioré; mais il ne dépasse guère 10 %, c'est-à-dire qu'un dixième seulement de l'énergie radiante reçue est transformé en énergie électrique et que pour obtenir 1 kW utile, il faut recevoir 10 kW. A la distance de la Terre au Soleil, il faut une surface de cellules de 7,5 m², ce qui paraît déjà encombrant et pesant. De plus, s'il s'agit d'un satellite, une batterie-tampon est nécessaire pour assurer le fonctionnement continu des instruments et des émetteurs au passage dans l'ombre de la Terre. Enfin, pour le vol aux planètes supérieures, celles qui sont, comme Mars, plus éloignées que nous du Soleil, une plus grande surface de cellules serait nécessaire pour fournir une égale puissance, alors que précisément les émetteurs auront à couvrir une distance beaucoup plus considérable pour être reçus sur la Terre.

Aussi a-t-on mis à l'étude des sources d'énergie nucléaire. C'est le but du projet américain S.N.A.P. (System Nuclear Auxiliary Power). Deux solutions ont été proposées.

L'une, due à la Martin Company, est remarquable de simplicité et fait appel à des radioisotopes. Les particules émises par le matériau radioactif engendrent de la chaleur lorsqu'elles sont absorbées soit par le matériau lui-même, soit par les parois de l'enceinte, et cette chaleur est convertie directement en électricité par des thermocouples. Il n'y a pas de pièces mobiles, donc pas d'entretien à prévoir, et le fonctionnement est continu et assuré pendant plus ou moins longtemps selon la « vie » de l'isotope. Le prototype SNAP-3, chargé de moins d'un gramme de polonium 210, a délivré 5 W. Cette puissance diminue avec le temps et on estime que la vie utile du système est d'environ deux fois la « période » de l'isotope, temps au bout duquel la moitié des atomes radioactifs présents à l'origine se sont désin-

Engin spatial sans pilote →

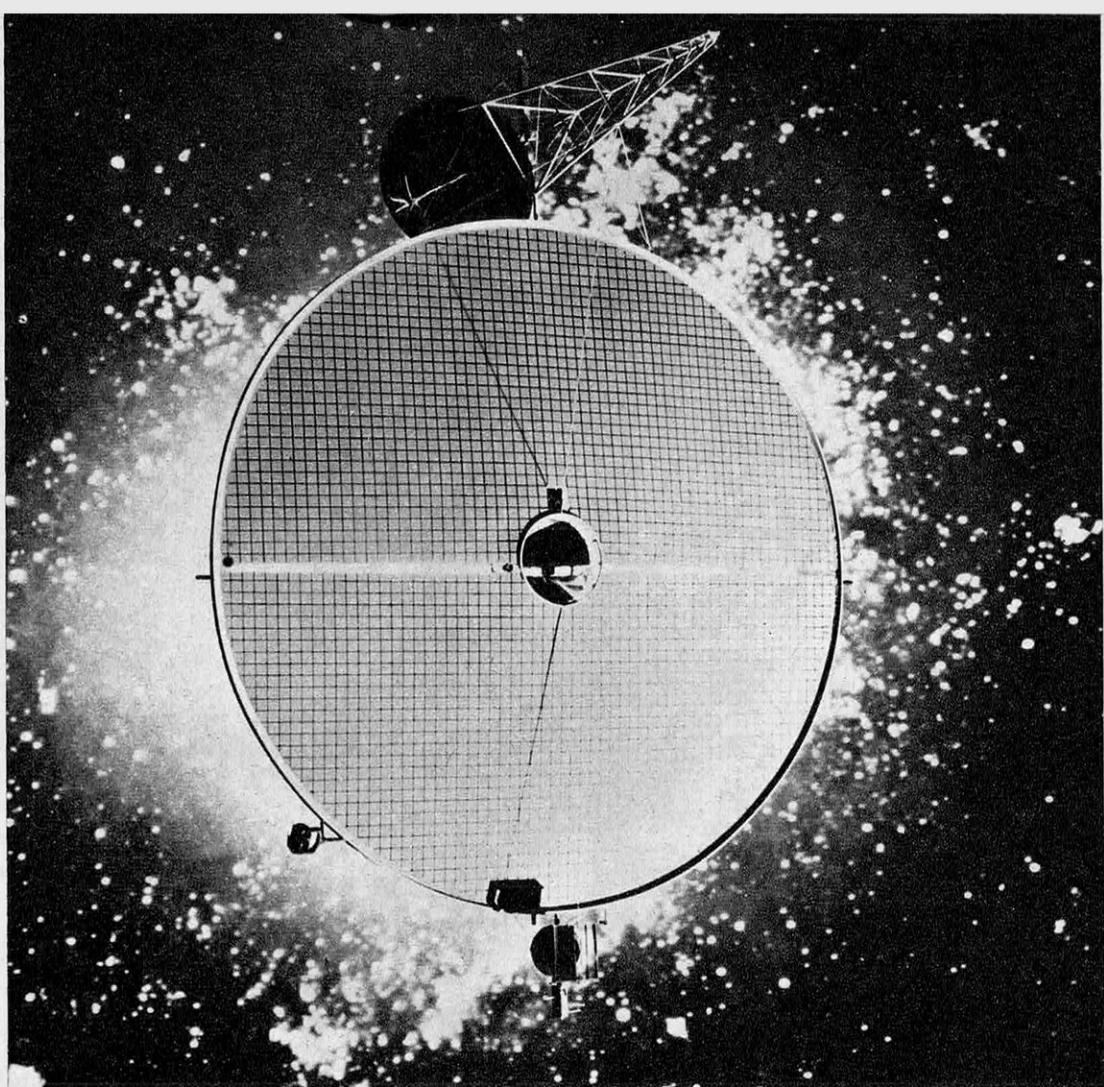
On l'imagine ici lancé vers Mars d'un satellite-relais où il aurait été construit, emportant un grand télescope dont les images seraient transmises à la Terre par télévision, alimenté par 112 m² de piles solaires. Le voyage aller et retour durerait trois ans.

tégrés. Avec le polonium 210, la source durerait ainsi 280 jours. D'autres isotopes sont envisagés, comme le cérium 144 qui donnerait 600 jours utiles ou le curium 242 et le plutonium 239, émetteurs alpha qui permettraient de supprimer les blindages, d'où un allègement appréciable. Mais ces deux derniers éléments exigent de longues irradiations dans des réacteurs atomiques et sont coûteux. Peut-être leur préférera-t-on le strontium 90 que l'on peut extraire en abondance des déchets radioactifs de ces mêmes réacteurs et dont la période de 28 ans conviendrait aux missions spatiales lointaines.

L'autre solution, proposée par North American et la Thomson-Ramo-Wooldridge, est celle d'un réacteur nucléaire de format réduit (46 × 35 cm), mais pesant déjà 100 kg sans écran protecteur contre les rayonnements. Il est chargé de 3 kg d'uranium enrichi, avec modérateur en hydrure de zirconium et refroidissement par sodium fondu. Un échangeur de température fournit de la vapeur de mercure qui entraîne une turbogénératrice et des pompes à 40 000 t/mn. L'ensemble, dénommé SNAP-2, peut fournir 3 kW de puissance électrique pendant un an.

L'installation se trouve encore compliquée par la nécessité d'une « source froide » importante puisqu'il s'agit d'une machine thermique. On peut se demander si, dans ce condenseur, le liquide se séparera convenablement de la vapeur, étant donné l'état de non-pesanteur du système. C'est sans doute une difficulté mineure que résoudre aisément les techniciens qui peuvent voir enfin à leur portée une source d'énergie convenable pour mettre en œuvre la propulsion ionique ou par éjection de plasma.

L'excellent rendement propulsif de ces systèmes et l'extrême économie qui en résulte en matière éjectée (qui doit être emportée au départ de la Terre) compense largement le fait que la poussée obtenue est faible car on peut l'exercer pendant de longues durées. Ainsi l'astronef acquerra-t-il peu à peu des vitesses très élevées permettant en particulier des changements d'orbite. On veut voir là la formule de l'avenir pour les très longs voyages dans le champ solaire et même hors de lui.



La moindre erreur de navigation peut être fatale

Les problèmes de navigation interplanétaire ont été étudiés en particulier par Peter Castruccio de la Westinghouse Air Arm Division dans un rapport présenté à l'American Rocket Society. On pourrait, au premier abord, considérer qu'ils ne se posent pas puisque, les positions des corps célestes étant aisées à prédire, on calculera sans peine les données initiales du lancement en tenant compte de toutes les forces susceptibles d'agir sur le véhicule. Mais la difficulté vient des imprécisions inévitables dans le fonctionnement des propulseurs et du système de guidage initial. Une erreur de 1 % sur une vitesse de l'ordre de 20 km/s entraîne un écart de 800 000 km à la distance de Mars, si on vise cette planète; une minute d'arc (1/60 de degré) en plus ou en moins, et ce sont encore

100 000 km supplémentaires. Des systèmes correcteurs s'imposent pour rectifier toute erreur dès son apparition.

Tant qu'on n'effectuera que des vols d'exploration sans équipage humain, on pourra se contenter d'un repérage optique et de l'envoi d'ordres par radio d'après les corrections calculées par des machines électroniques terrestres. Mais Castruccio envisage dès maintenant le cas des astronefs emportant un équipage auquel sera confié le soin de le piloter. Il imagine même, dans un avenir pas très éloigné, le développement d'un « trafic » interplanétaire et la création de « lignes spatiales » régulières qui exigeront des aides automatiques à la navigation.

Supposons un astronef et son équipage traversant le système solaire. Le pilote doit, pour se diriger, connaître à un instant donné sa position et sa vitesse. L'observation des étoiles, très éloignées et pratiquement à l'in-

fini, ne lui permet de se situer qu'en direction par rapport au Soleil; pour évaluer sa distance, il lui faut mesurer le diamètre du disque solaire et, s'il se trompe d'une seconde d'arc, ce qui est vraiment peu de chose, il en résulte un écart de 64 000 km s'il est à la distance de la Terre au Soleil (150 millions de km). Le repérage d'après les planètes donnerait un résultat plus précis, à quelque 2 000 km près, à condition qu'on emporte à bord une horloge donnant le centième de seconde pour connaître leurs positions exactes. Quant à la vitesse de l'astronef, son évaluation demande, si on la déduit des différences de positions, un temps d'autant plus long qu'on la veut plus précise. Or, il viendra un moment où,

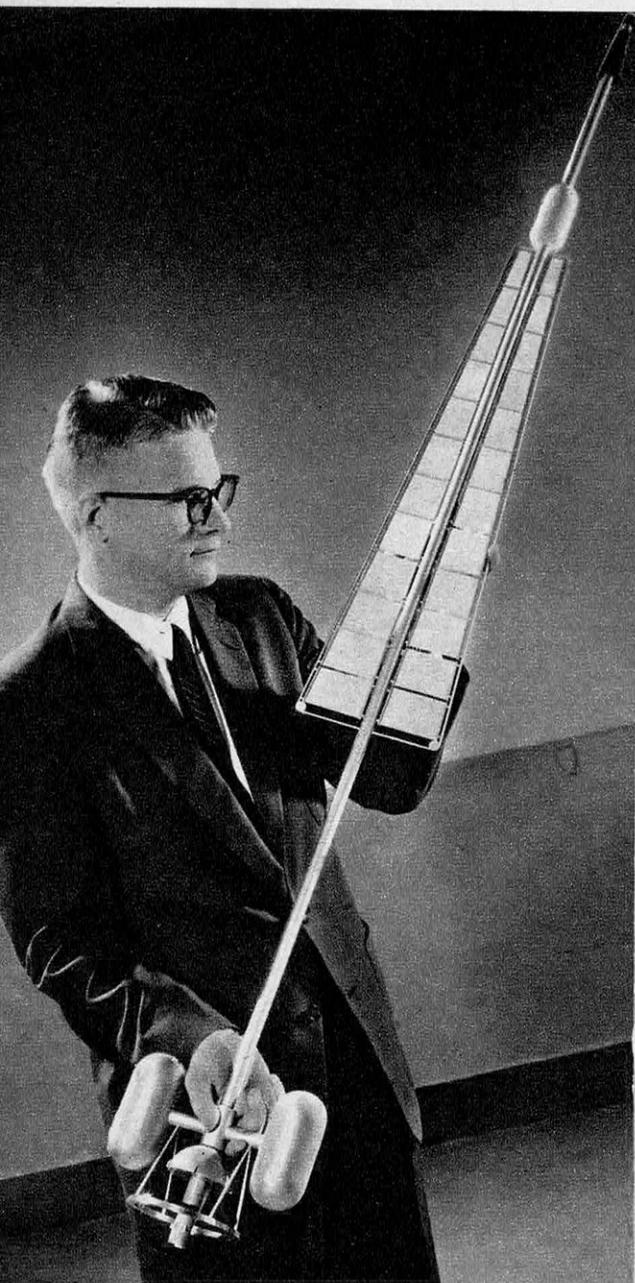
dans les grands voyages, on ira très vite; on ira vers Mars, par exemple, à son plus petit éloignement, en 39 heures.

Il sera évidemment plus commode, pour des expéditions fréquentes, de prévoir dans l'espace des systèmes de navigation automatique analogues à ceux des avions. Ce seront, par exemple, ou des faisceaux radio dirigés d'une planète à une autre et que suivront les astronefs comme les missiles suivent les faisceaux directeurs pour frapper leurs cibles, ou des émetteurs installés sur les planètes visées ou un de leurs satellites et permettant le « homing » automatique, ou des radiophares omnidirectionnels, système Loran.

Pour les communications interplanétaires à grande portée, l'emploi de faisceaux dirigés s'impose pour concentrer dans un angle réduit l'énergie des émetteurs; ils seront assez faciles à mettre en œuvre entre planètes, ou d'un astronef à une planète, parce que les positions des planètes sont connues avec précision. Il n'en sera pas de même d'une planète à un astronef de position incertaine ou entre astronefs, car le balayage à la recherche d'une station mal repérée est rendu difficile par l'énormité des distances. On se servira utilement des stations planétaires comme relais.

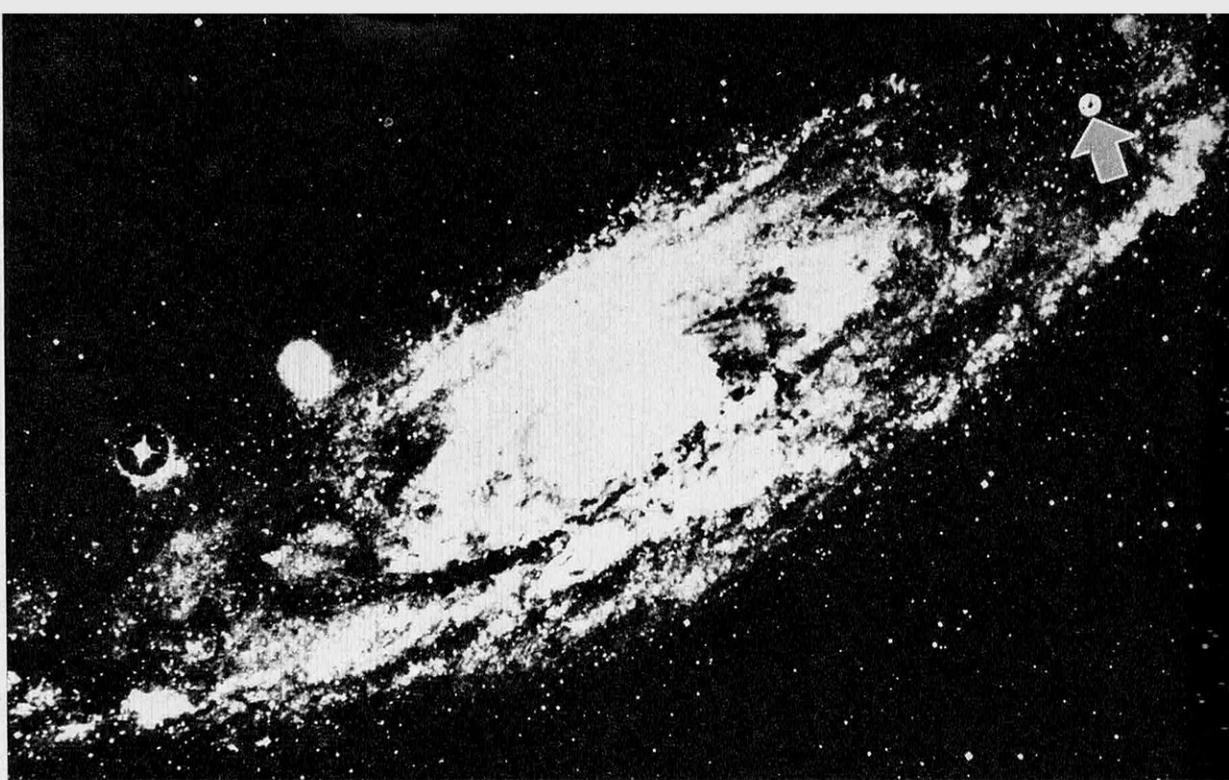
Radars anti-collision

Les seules rencontres à redouter sont celles des météorites. Celles de masse appréciable sont très rares heureusement car il est difficile de les éviter. Leur détection par radar est malaisée parce que leurs dimensions sont réduites et aussi parce que leurs vitesses sont élevées, ce qui fait que l'écho radar revient sur une longueur d'onde très différente de celle de l'émission, par suite de l'effet Doppler. Castruccio a calculé que, si on veut détecter des météorites d'un décimètre carré de surface apparente avec un émetteur de 100 kW sur 4 mm de longueur d'onde, compte tenu des pertes dues à la largeur de bande imposée au récepteur par l'effet Doppler et au bruit de fond, la portée utile ne dépasse pas une cinquantaine de kilomètres, à l'extrême rigueur 150 km si on parvient à refroidir le récepteur au voisinage du zéro absolu. Si la météorite a une vitesse relative de 70 km/s, on a à peine deux secondes pour détecter le projectile, cal-



← Engin spatial nucléaire

Ce modèle réalisé par le NASA prévoit à l'arrière deux cabines et le propulseur. Le réacteur serait à l'extrême avant, suivi du turbogénérateur et d'une vaste surface triangulaire jouant le rôle de condenseur.



EN TOUTE UNE VIE HUMAINE, on ne pourra parcourir qu'une infime partie des immensités spatiales. Voici, comparé à la nébuleuse d'Andromède, le rond blanc qui limite le volume qu'un homme pourra explorer.

culer sa trajectoire relative, reconnaître l'imminence d'un choc, trouver la manœuvre à effectuer et la mettre en œuvre.

Quant aux collisions entre astronefs, elles ne peuvent être qu'extrêmement rares. Dans l'état actuel de la technique, on détecterait une approche dangereuse à 300 000 km, ce qui paraît très suffisant.

L'exploration des planètes

La carte d'une planète comme Mercure, dépourvue d'atmosphère, ou comme Mars, doté d'une atmosphère très ténue, pourra être dressée par des procédés optiques. Pour Vénus, par contre, où il existe une atmosphère nuageuse et opaque, il faudra recourir au radar.

Le radar donne d'ailleurs des indications précieuses sur la composition même de l'atmosphère, car les divers éléments présents et leurs combinaisons gazeuses possèdent des caractéristiques d'absorption différentes suivant la fréquence. On observera l'affaiblissement de l'écho d'un point déterminé de la surface en fonction de la longueur d'onde. La meilleure méthode pourrait être d'envoyer un « répondeur » sur la surface de la planète. Un affaiblissement sur 1,25 cm de la longueur d'onde indiquerait la présence de vapeur d'eau, celle d'oxygène sur 5 mm.

La question évidente à laquelle on désire le plus ardemment trouver une réponse est celle de la présence éventuelle d'organismes vivants sur les planètes. Le professeur Anatol Blagonravov, en annonçant l'intention des savants russes d'envoyer des engins au voisinage de Mars et de Vénus, a ajouté que les instruments emportés ainsi au voisinage de leur surface permettraient d'élucider le mystère. Le Dr Lederberg, prix Nobel et généticien de l'Université Stanford, doute que cela soit possible sans que les instruments se posent effectivement sur le sol. En effet, même s'il n'y existe pas de plantes ou d'animaux de grande taille, il pourrait s'y trouver, comme sur la Terre, un fourmillement de créatures microscopiques. Aussi suggère-t-il d'équiper l'engin d'un dispositif déroulant un ruban transparent et collant qui toucherait le sol et qui, ramené dans la capsule, serait étudié par un microscope; un téléviseur transmettrait les images à la Terre par radio. Mais des précautions s'imposent, ajoute-t-il, pour ne pas introduire sur Mars ou Vénus des microbes terrestres vivants qui pourraient s'attaquer à ceux qui s'y trouvent. Inversement, quand on aura obtenu qu'un engin revienne d'une de ces planètes sur la Terre, il faudra faire très attention à ne pas introduire sur notre globe des formes de vie extra-terrestres qui pour-

raient s'y multiplier rapidement, avec des conséquences désastreuses pour l'équilibre biologique des continents ou des océans. L'astronaute qui reviendra après avoir foulé un autre monde peut s'attendre à être mis en quarantaine très stricte.

Les médecins devront tout prévoir

Il y aura là une tâche nouvelle pour la médecine de l'espace, tâche qu'elle n'a pu aborder encore faute d'éléments concrets. D'ailleurs le médecin de l'espace n'a encore étudié que les problèmes les plus immédiats de sa spécialité; une foule d'autres l'attendent dès que l'on abordera sérieusement l'étude des grands voyages vers les planètes et de leur exploration.

On a vu dans un chapitre précédent à quels « stress » tant physiologiques que psychologiques les astronautes seront soumis et les principales solutions envisagées pour assurer leur subsistance dans les meilleures conditions. Mais l'hypothèse de base est qu'une sélection rigoureuse a rassemblé un équipage dont tous les membres sont physiquement et mentalement sains, à qui les ressources, aujourd'hui étendues, de la psychopharmacologie permettront de surmonter la fatigue nerveuse et l'anxiété et de demeurer émotionnellement stables. Les voici pour 2, 5, 10 ans et plus dans l'étroite cabine où rien ne manque pour maintenir une température égale, fabriquer l'oxygène en même temps que la nourriture, récupérer l'eau indispensable.

Que se passe-t-il, détail ridicule, si l'un d'eux a mal aux dents ? Aura-t-on prévu un appareillage de dentiste ou aura-t-on, par précaution, exigé avant le départ que toutes les dents soient arrachées ? Une trousse de premier secours classique suffira pour les écorchures légères, mais est-on sûr que personne n'aura l'appendicite ? Grâce à un traitement préventif par vaccinations, on évitera certes les maladies contagieuses connues; mais il y a assez de rayons cosmiques pénétrant dans l'espace pour provoquer des mutations de microorganismes qui, d'inoffensifs, pourront devenir virulents et résistants aux antibiotiques que l'on aura emportés; entreprendra-t-on d'isoler ces microbes inédits, tentera-t-on de fabriquer des sérums et à partir de quoi ?

Mais soyons optimistes et supposons que tout se passe bien. Les astronautes s'adaptent, certainement avec peine, à leurs nouvelles conditions de vie, en particulier à la non-pesanteur. Les voici qui reviennent, plusieurs mois ou plusieurs années après, et se retrouvent parmi leurs semblables; un nouveau

problème se pose, celui de leur réadaptation à la vie terrestre, au moins aussi pénible. Après cette épreuve, pourra-t-on demander à l'un d'eux de repartir ? Ce seront pourtant les seuls à avoir acquis l'expérience de la navigation spatiale. Faudra-t-il leur interdire de remettre le pied sur le sol et les obliger à attendre leur nouveau départ sur un satellite-relais ?

Les limites du possible

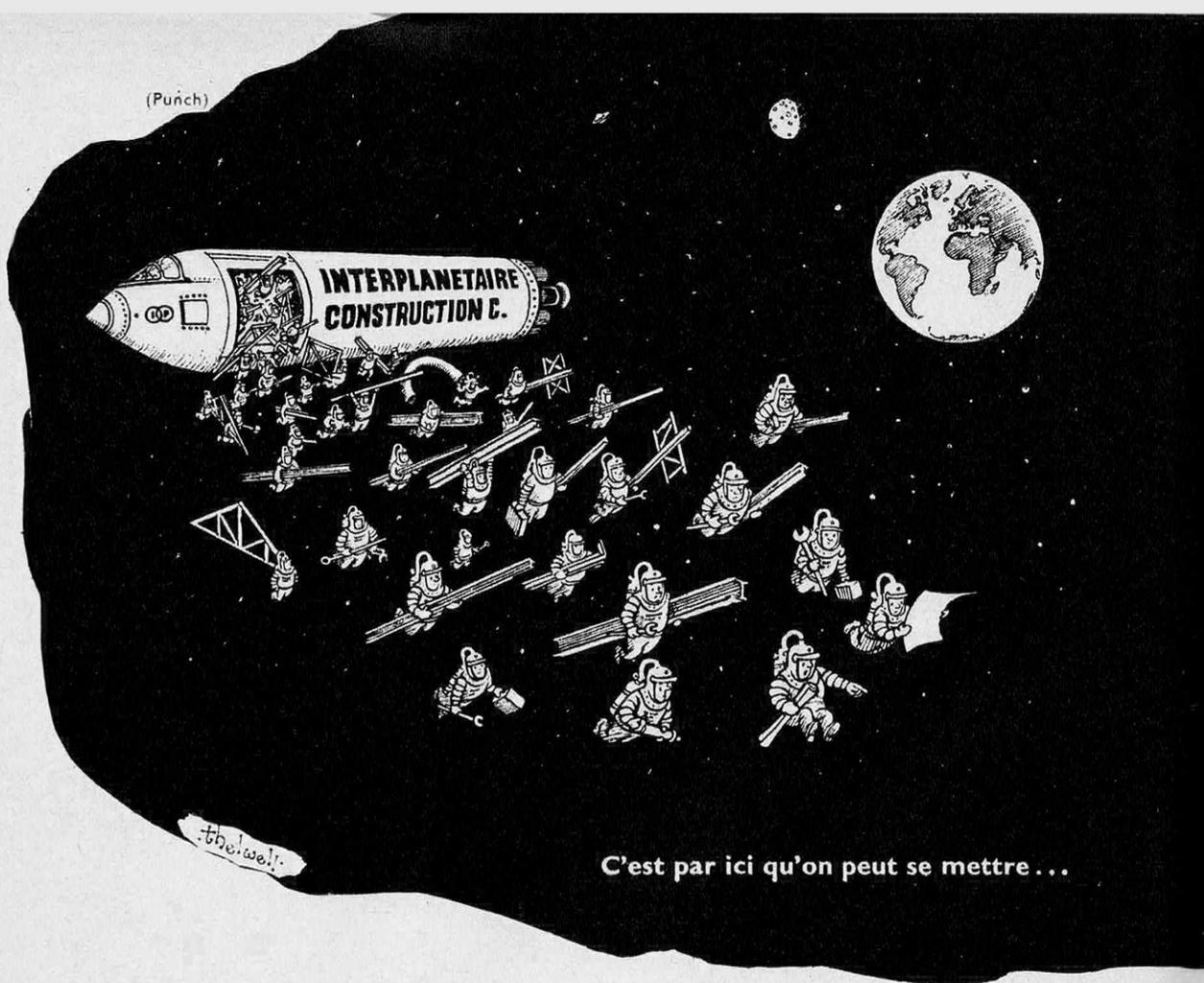
L'idéal serait évidemment de découvrir des hommes dotés d'une faculté d'adaptation extrêmement développée, qui leur permettrait de passer rapidement et sans souffrance de la vie terrestre à la vie spatiale et inversement.

On s'est demandé si la génétique ne pourrait pas aider à résoudre le problème. L'application des principes connus d'eugénie exigerait beaucoup de temps, sans doute des siècles, mais on pourrait concevoir, pour accélérer le processus, des mutations dirigées et contrôlées. La création artificielle de ce qu'on pourrait appeler l'*homo sapiens var. spatialis* soulèverait sans doute de graves objections philosophiques.

Il faudra donc se contenter de prendre l'homme tel qu'il est, et, renonçant à l'adapter à l'environnement spatial, s'efforcer d'adapter aussi parfaitement que possible à ses besoins vitaux le véhicule qui l'emportera dans l'espace. Alors se pose la question : jusqu'où pourra-t-il aller ? Si l'on se montre très optimiste, on peut espérer que la médecine parviendra à prolonger, dans un avenir pas trop éloigné, la vie humaine jusque vers 120 ans. A une vitesse voisine de celle de la lumière, vitesse limite, il ne pourra parcourir qu'une centaine d'années-lumière, c'est-à-dire que son rayon d'action, s'il doit revenir mourir sur la Terre, ne dépassera pas une cinquantaine d'années-lumière. Or le diamètre de notre galaxie mesure plus de 100 000 années-lumière. Il nous faut abandonner l'espoir d'en explorer directement plus de la 2 000^e partie. Quant aux autres galaxies, elles nous seront pour toujours interdites. La nébuleuse la plus proche, celle d'Andromède, est à près de 2 millions d'années-lumière et l'imagination se refuse à imaginer un astronaf géant où se succéderaient des générations et des générations d'astronautes émigrants, lancés dans une aventure angoissante à la recherche de terres insoupçonnées à coloniser, sans que les humains demeurés sur Terre puissent jamais connaître leur destin.

Paul LUCAS

(Punch)



Le droit de l'Espace

LE législateur suit toujours le conquérant. Sur les pas des savants qui ont commencé la conquête de l'espace, les juristes entrent aujourd'hui en scène. Ne faut-il pas prévoir et aménager de nouveaux rapports entre les nations qui se sont assurées des premières places-fortes extra-atmosphériques, préciser les droits et les obligations de chacune d'elles, jeter entre elles les bases d'une collaboration féconde? Devant les progrès foudroyants de l'astronautique, forger un droit de l'espace devient une nécessité aussi impérieuse que l'avait été l'élaboration d'un droit aérien quand il apparut

que les avions prendraient véritablement possession du ciel.

La nouvelle législation, que partout des efforts convergents tendent à créer, serait la clef de la coopération internationale dans l'espace extra-atmosphérique. Cette coopération, tout le monde est d'accord qu'elle devrait d'abord s'intensifier sur le plan de la recherche pure: échange et diffusion de renseignements scientifiques, soutien aux différents programmes nationaux, assistance permettant de poursuivre et de développer les travaux entrepris dans le cadre de l'Année Géophysique Internationale... Mais elle pour-

rait s'étendre aussi à des domaines tels que la météorologie, la navigation maritime, les communications radioélectriques, etc...

Il est clair que seule une législation de l'espace pourrait fournir une armature solide à de telles formes de coopération. Cela n'a pas échappé aux Nations Unies qui coordonnent les efforts entrepris pour resserrer « la coopération internationale dans l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique à des fins pacifiques ». Quand en décembre 1959, à la fin de sa 14^e session, l'Assemblée générale de l'O.N.U. a décidé la convocation, en 1960 ou en 1961, d'une « Conférence scientifique internationale sur les usages pacifiques de l'espace extra-atmosphérique », elle a prévu expressément que le droit de l'espace figure-rait à l'ordre du jour de cette réunion. Mieux encore : le « Comité sur l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique », créé par la même Assemblée, s'est vu confier une double tâche :

— « Délimiter d'une manière appropriée le champ d'application de la coopération internationale et étudier les moyens pratiques pouvant permettre l'exécution de programmes d'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique ;

— Etudier la nature des problèmes juridiques pouvant résulter de l'exploration de l'espace extra-atmosphérique ».

En 1958, à sa 13^e session, l'Assemblée générale des Nations Unies avait déjà créé un Comité dont le mandat était analogue. L'U.R.S.S. avait alors refusé de siéger dans cet organisme qui lui paraissait réserver une place trop importante aux représentants de l'idéologie occidentale. Elle participera aux travaux du nouveau Comité dont la composition est, à son avis, mieux équilibrée entre l'« Occident », le « camp socialiste » et les « pays non engagés » (1). Dans l'atmosphère d'euphorie générale qui fut celle des débats, le représentant soviétique, M. Kouznetsov, alla jusqu'à accepter comme « base de travail » le rapport établi par le Comité de 1958 en l'absence de sa délégation. Mis à part les travaux de certains précurseurs, comme en France M. Bornecque-Winandy, ce rapport constitue l'un des documents les plus sérieux (et à coup sûr le plus à jour) dont nous disposions à l'heure actuelle sur les problèmes juridiques de l'exploration de l'espace.

Les juristes comme les savants sont gens prudents. Aussi bien le premier Comité des

Nations Unies sur l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique a-t-il estimé qu'en ce qui concerne le droit de l'espace, une codification d'ensemble ne serait « ni praticable, ni souhaitable dans l'état actuel de nos connaissances ». Tout au plus peut-on « dénombrer les matières qu'il importe de codifier ». L'étude des principes qui régissent l'utilisation de l'espace aérien ou de la mer permettra de dégager des analogies de nature à éclairer les problèmes juridiques de l'espace. Mais, dans une grande mesure, ces problèmes appellent des solutions neuves. Les juristes de l'ONU se contentent de définir clairement les termes dans lesquels ils se posent.

Liberté d'exploration

Lorsqu'ils lancèrent en 1957 leur premier satellite artificiel, les Russes ne s'embarassèrent pas de considérations juridiques. Un an plus tard, les Américains firent de même. Tout s'est passé comme si le lancement et le vol des engins spatiaux étaient licites, quels que fussent les territoires qu'ils pourraient survoler. Cette pratique, qui somme toute était sage, pourrait servir de base à l'établissement d'une règle générale selon laquelle chacun a le droit, dans des conditions d'égalité, d'explorer librement l'espace extra-atmosphérique.

Jusqu'ici aucun dommage, corporel ou matériel, n'a été subi du fait d'un satellite artificiel ou d'une fusée. Mais il est certain, malgré les précautions dont on s'entoure, que le lancement, le vol et le retour sur Terre d'engins spatiaux, ou de parties d'engins, risquent de provoquer des accidents. Les juristes se retrouvent ici sur un terrain familier : comment déterminer la responsabilité et, le cas échéant, assurer le paiement d'une indemnité ? Le plus simple — c'est l'avis des juristes de l'ONU — serait de convenir que les différends entre États concernant les responsabilités que l'un d'entre eux pourrait encourir pour des dommages causés par des engins spatiaux relèvent de la compétence de la Cour Internationale de Justice. Celle-ci devrait tenir compte de la « Convention relative aux dommages causés aux tiers et à la surface par des aéronefs étrangers », élaborée à Rome en 1952 sous les auspices de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI).

La répartition des fréquences radioélectriques

L'Union internationale des télécommunications a publié un rapport à ce sujet sous le titre : « Choix des fréquences utilisées pour

(1) Les États suivants siègent dans ce Comité : Albanie, Argentine, Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Canada, Tchécoslovaquie, France, Hongrie, Inde, Iran, Italie, Japon, Liban, Mexique, Pologne, Roumanie, Suède, URSS, République Arabe Unie, Royaume-Uni, États-Unis.

les télécommunications avec et entre les satellites artificiels et les autres engins spatiaux ». Cette étude circonscrit un domaine où se rencontrent hommes de science et juristes. Les premiers font ressortir l'existence de limites strictes au nombre des fréquences radio-électriques qu'il est possible de réserver aux communications et mettent en garde contre l'accroissement considérable de l'encombrement du spectre que provoquent les engins spatiaux. Les seconds soulignent la nécessité d'une répartition rationnelle des fréquences pour la communication avec les engins spatiaux et entre ces engins. Ils estiment qu'il serait souhaitable de faire cesser les émissions émanant d'engins spatiaux lorsqu'elles sont devenues inutiles. De cette façon, on pourrait conserver et utiliser au mieux les fréquences qui sont attribuées aux communications extra-atmosphériques.

A mesure que les lancements d'engins spatiaux se multiplieront, il faudra aussi veiller à éviter toute interférence entre les véhicules spatiaux, ou les fusées, et les avions classiques, ce qui ne manquera pas de poser des problèmes d'ordre juridique et pratique, du fait que les routes aériennes sont déjà encombrées.

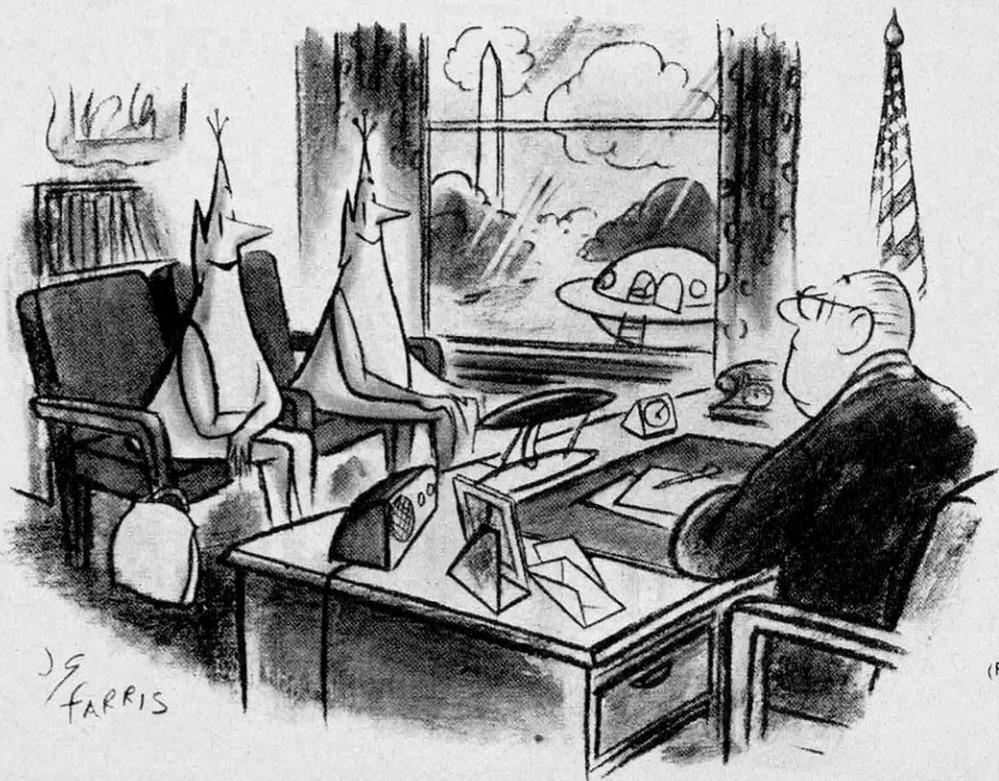
Déjà les juristes des Nations Unies s'interrogent sur les moyens qui permettront de distinguer les engins et de les identifier. Identifi-

cation qui pourrait se faire, par exemple, par l'attribution à chaque engin d'un indicatif d'appel individuel. On a envisagé aussi l'apposition de marques et de signes distinctifs sur les engins, de sorte qu'ils puissent être facilement identifiés à leur retour sur Terre. Les juristes proposent, en outre, un système d'enregistrement des lancements d'engins spatiaux, de leurs indicatifs d'appel et de leurs marques. Ce système constituerait un moyen efficace pour chaque État de notifier ses lancements aux pays étrangers. Ceux-ci pourraient alors distinguer entre les engins enregistrés et d'« autres objets » signalés par leurs stations de repérage.

Où commence l'espace extra-atmosphérique

Aux termes des conventions internationales existantes et du droit international coutumier, les États ont une souveraineté « complète et exclusive » sur l'espace aérien situé au-dessus de leurs territoires et de leurs eaux territoriales. En sera-t-il de même de l'espace extra-atmosphérique ? La question de savoir où finit l'espace aérien et où commence l'espace extra-atmosphérique est loin d'être résolue. On se heurte à d'innombrables difficultés quand on tente d'établir une démarcation en faisant intervenir les caractéris-

Nous irons droit au but, Monsieur le Ministre, ... nous cherchons une aide étrangère.



(Punch)

tiques de l'air ou celles des aéronefs. Un accord international fondé sur les connaissances actuelles, qui sont en pleine évolution, serait certainement prématuré. Tout au plus peut-on essayer de situer provisoirement une limite entre l'espace aérien et l'espace extra-atmosphérique. M. E. Bornecque-Winandy, l'un des premiers à s'être intéressé à ces problèmes, a proposé, voici déjà plusieurs années, de faire intervenir dans le domaine du droit spatial des notions comparables à celles de « côtes », de « mer territoriale » et de « plateau continental »... Les juristes de l'ONU ne se sont pas encore arrêtés à ces suggestions.

Le problème de la rentrée et de l'atterrissage des engins spatiaux revêtira une importance accrue quand il s'agira d'engins transportant des astronautes. Les atterrissages peuvent se produire par suite d'un accident ou d'une erreur. Un engin parti d'U.R.S.S. pourrait terminer sa course aux États-Unis. Dans quelles conditions s'effectueraient la restitution de l'appareil, ou de l'une de ses parties, et le retour de l'équipage dans son pays d'origine ? Les juristes de l'ONU ont rappelé qu'il existait déjà en droit international certaines règles de fond concernant « les droits et les obligations relatifs aux astronefs qui atterrissent en territoire étranger par suite d'un accident, d'une erreur ou d'autres difficultés ». Et ils ont estimé que ces règles pourraient s'appliquer dans les cas d'atterrissages analogues d'engins spatiaux.

La colonisation des corps célestes

En décembre dernier, au cours des débats qui précédèrent la constitution du Comité sur l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique, le représentant des États-Unis, M. Cabot Lodge, déclara devant l'Assemblée générale de l'ONU : « ...L'espace ne peut être

la chasse gardée de quelque pays que ce soit, mais devrait être ouvert à tous, quels que soient leur régime politique et social ou leur idéologie »... Tel est également l'avis des juristes : nul ne pourra s'approprier la Lune ou les planètes parce qu'il aura été le premier à y débarquer. Un État ne pourra pas revendiquer de droits exclusifs sur tout ou partie des corps célestes. Ceux-ci ne seront explorés et exploités que pour le bien de l'humanité tout entière. Plusieurs membres du Comité ont suggéré de placer les corps célestes sous un régime d'administration internationale comparable au régime de tutelle. Ainsi l'U.R.S.S. ou les États-Unis auraient, par exemple, la responsabilité de telle ou telle planète, mais devraient rendre compte de leur gestion à la communauté internationale représentée par les Nations Unies. Le Comité ne s'est pas engagé dans l'étude des modalités de ce système, car, fait-il observer dans son rapport, « si les programmes scientifiques envisagent l'exploration relativement prochaine des corps célestes, leur colonisa-

Ah, c'est comme ça !
Vous oubliez que
nous étions venus
avec des intentions
pacifiques.



(Punch)

tion et l'exploitation poussée de leurs ressources ne sont guère probables dans un avenir prévisible»...

Quant aux risques de collision entre engins spatiaux, ils sont aujourd'hui pratiquement nuls. Cette situation pourrait se modifier dans l'avenir, si des astronefs sont utilisés en grand nombre pour les voyages interplanétaires. Le Comité sur l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique se demande déjà dans quelle mesure les règles et pratiques en usage pour la circulation aérienne pourraient s'appliquer aux voyages dans l'espace.

La coopération internationale dans l'espace

On a mesuré à ce qui précède la diversité des problèmes juridiques que soulève l'exploration de l'espace extra-atmosphérique. Au-delà du règlement d'hypothétiques différends au sujet de la souveraineté sur un astre ou d'une collision d'astronefs, la nouvelle législation aura pour objectif, selon les termes employés par M. Cabot Lodge devant l'Assemblée des Nations Unies, « de mettre l'espace extra-atmosphérique au service des desseins pacifiques de l'humanité ». Cet objectif nécessitera la collaboration des juristes de l'ONU avec les grandes organisations scientifiques internationales, telles que l'Union astronomique internationale, l'Union géodésique et géophysique internationale, l'Union internationale de chimie pure et appliquée, l'Union radioscopique internationale, l'Union internationale des sciences biologiques, l'Union internationale de mécanique théorique et appliquée, le Conseil international des unions scientifiques et, enfin, la Commission de la recherche spatiale (Cospar) créée dans le cadre de l'Année Géophysique Internationale.

Les juristes chargés d'aménager la coopération internationale dans l'espace devront collaborer également avec la plupart des institutions spécialisées de l'ONU. L'organisation météorologique mondiale encourage vivement l'utilisation des satellites artificiels pour obtenir des données météorologiques précises. L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale préconise la mise au point de satellites-phares qui pourraient servir de base à un système de navigation à longue distance par tous temps pour les navires et les aéronefs. L'Organisation Mondiale de la Santé fournit des données sur les problèmes médicaux et sanitaires liés à l'exploration et aux voyages spatiaux. A l'UNESCO, on s'intéresse aux satellites géodésiques et cartographiques qui permettront d'enrichir nos connaissances en ce qui concerne les dimensions et la forme de

la Terre, ainsi que la répartition des terres émergées et des eaux. Enfin l'Agence internationale de l'énergie atomique apporte ses avis chaque fois qu'il est question des problèmes de sécurité liés à la technique nucléaire spatiale.

Mais de toutes les institutions spécialisées, c'est l'Union internationale des télécommunications qui bénéficiera le plus directement de la coopération internationale dans l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique. En effet, les câbles transatlantiques actuels seront saturés dans deux ans et, de plus, les télécommunications sont irrégulières et parfois interrompues en raison des perturbations fréquentes dues à des phénomènes électromagnétiques. L'emploi de satellites artificiels de la Terre comme « réflecteurs passifs » ou « répéteurs actifs » pourrait réaliser un système de télécommunications véritablement mondial et totalement efficace...

On se rend compte, à ces quelques exemples, que la constitution d'un droit de l'espace exigera des rapports constants entre savants et juristes. Sans cesse, les progrès de la science et les exigences de la technique fourniront à ces derniers de nouvelles « matières » à codifier ou les obliger à réviser quelque règle établie. Mais les principes qui sous-tendent toute la construction ne pourront, eux, être révoqués. Ces principes, on les trouve formulés dans le Préambule de la résolution des Nations Unies qui institua le Comité sur les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique :

« L'Assemblée Générale,

« Reconnaissant l'intérêt général de l'humanité dans le développement de l'usage pacifique de l'espace extra-atmosphérique,

« Convaincue que l'exploration et l'usage de l'espace extra-atmosphérique devraient être consacrés uniquement au bien-être de l'humanité et au profit des États quel que soit leur niveau économique et scientifique,

« Désireuse d'éviter une rivalité, une extension des actuelles rivalités nationales dans ce nouveau domaine,

« Reconnaissant l'importance majeure de la coopération internationale dans l'exploration et l'exploitation de l'espace extra-atmosphérique à des fins pacifiques,

« Prenant acte des programmes de coopération scientifique qui se poursuivent au sein de la communauté scientifique internationale dans l'exploration de l'espace extra-atmosphérique »...

Derrière la sécheresse de ce texte, on aperçoit que l'œuvre poursuivie par les juristes de l'espace est, en fin de compte, une œuvre de solidarité humaine.

Roland HARARI

ASTRONOMIE-ASTRONAUTIQUE

Cette bibliographie établie d'après le stock d'ouvrages sélectionnés de notre librairie ne représente qu'une partie des ouvrages figurant dans notre catalogue général (Franco NF 3,50).

ASTRONOMIE

ASTRONOMIE, LES ASTRES, L'UNIVERS (Rudaux L. et Vaucouleurs G. (de)). Cet ouvrage présente, pour la première fois, en un langage accessible à tous, avec les acquisitions consacrées de l'astronomie classique, les découvertes les plus récentes de l'astronomie moderne. Près de 900 grav. dont un grand nombre de photos du ciel prises dans les grands observatoires. 520 p. 21 x 30, 891 illustr., 12 pl. couleurs, Nouvelle Édition 1959 NF 69,00

ASTRONOMIE POPULAIRE CAMILLE-FLAMMARION. La terre. La lune. Le soleil. Les mondes planétaires. Les comètes, météores et météorites. L'univers sidéral. Les instruments de l'astronomie. 600 p. 23,5 x 29, tr. nbr. fig. et schémas, 800 héliogravures, 8 planches en couleurs et 2 cartes du ciel en couleurs. Relié plein pelliore vert, 1955.....NF 65,00

ATLAS DU CIEL (Callatay V. de). Cet ouvrage se compose de : 36 grandes planches à fond noir, couvrant ensemble la totalité de l'Univers; 45 cartes complémentaires représentant, dans leurs délimitations, les 88 constellations; des textes commentant les caractéristiques de chaque région céleste; une trentaine de théories élémentaires sur les principales questions intéressant l'astronomie; des tableaux synoptiques facilitant la recherche des constellations parmi les différentes planches et cartes; la reproduction d'une douzaine de photographies prises au télescope. 157 p. 24 x 32, cartonné, sous jaquette illustrée en 2 couleurs, 1959..... NF 45,00

ASTROPHYSIQUE GÉNÉRALE (Pecker J. C. et Schatzman). Rappel de notions physiques de base : Les fondements de la statistique. Questions de mécanique et d'hydrodynamique. Notions de spectroscopie. Problèmes d'interaction entre matière et rayonnement. Instruments, méthodes d'observation; Les limitations de l'observation astronomique. Photométrie. Analyse spectrale, spectrophotométrie. La formation de l'image objective. La construction des combinaisons objectives. L'observation de l'image objective. Accessoires, monture et mouvements des instruments astronomiques. Quelques instruments importants de l'astronomie moderne. Propriétés intrinsèques des étoiles : La classification empirique des spectres stellaires. L'interprétation des spectres stellaires par la théorie des atmosphères. La mesure des distances stellaires et des éclats absolus. Étoiles doubles, masses rayons. Étoiles variables, novae, spectres particuliers. Structure interne des étoiles. Les systèmes d'étoiles : Structure de la galaxie. Cinématique stellaire. Dynamique stellaire. Problèmes d'évolution. La matière interstellaire. Les nébuleuses extragalactiques. Soleil et système solaire : Le soleil, étoile G2 V typique. L'activité solaire, les centres actifs et les phénomènes terrestres. Les planètes. 756 p. 15 x 24, 5 396 fig. Nbr. tabl. Cartonné toile. 1959..... NF 130,00

RADIOASTRONOMIE (Chklovski I.) Traduit du russe par Sézéman A. — Introduction. Éléments de la technique et de la méthode des observations radioastronomiques. Le rayonnement radioélectrique : du Soleil calme, du Soleil en état d'activité, de la Lune. Quelques données sur la structure de la Galaxie. Le rayonnement radioélectrique de la Galaxie. Le rayonnement de la raie radioélectrique de l'hydrogène de 21 centimètres de longueur d'onde. La découverte des « radio-étoiles ». Les rayons cosmiques et la seconde composante du rayonnement radioélectrique de la Galaxie. Les radionébuleuses. Les radiogalaxies et le problème du rayonnement radioélectrique de la Métagalaxie. Radar astronomie. Conclusion. 328 p. 13 x 19,5. 126 fig. Relié toile, sous jaquette couleurs. 1958 NF 5,00

A LA CONQUÊTE DES ÉTOILES (Rousseau P.). L'homme primitif entre les dieux et les astres. Le génie grec entrevoit le soleil au centre du monde. A l'école de la science barbare. Les quatre grands de la conquête céleste. Les navigateurs réclament l'inventaire du ciel. Laplace et Herschel : l'explication et l'image du monde. Un pas vers les étoiles. Le soleil, une étoile de la voie lactée. L'univers où nous roulons. 352 p. 15 x 21, 12 fig. 1956 NF 8,75

LES PLANÈTES (Bruhat G. et Schatzman). Généralités. La terre. La lune. La surface des planètes. Structure interne des planètes. Étude particulière des planètes et de leurs satellites. Petites planètes, comètes, météores, météorites, lumière zodiacale. Les théories cosmographiques. 300 p. 14,5 x 19, 43 fig., 8 pl. photos hors texte, 1952 NF 12,00

L'ORIGINE DES PLANÈTES. Essai de cosmogonie (Dauvillier A.). Caractères du système solaire. L'accrétion. La théorie de Laplace. Théories diverses. Les marées. Les collisions. Le problème cosmogonique. La théorie des planètes jumelles. La nature des planètes. Les systèmes stellaires multiples. 224 p. 14 x 19, 49 fig., 1956 ..NF 8,00

LE SOLEIL (Bruhat G.). Données géométriques et physiques sur le soleil. Le rayonnement et la température du soleil. L'étude de la surface solaire. Le spectre solaire. Niveau des vapeurs et mouvements généraux dans la chromosphère. Les images monochromatiques de la chromosphère. Résultats généraux des observations spectrohéliographiques. La couronne. Les théories sur le soleil. Phénomènes terrestres en relation avec l'activité solaire. 222 p. 14,5 x 19,5 43 fig., 16 pl. photos hors-texte, 1951, nouv. édit. rev. et mise à jour p. d'Azambuja L. NF 7,80

NAISSANCE ET MORT DU SOLEIL (Gamow G.). Le soleil et son énergie. Anatomie des atomes. Transmutation des éléments. Domestication de l'énergie atomique. Alchimie du soleil. Le soleil parmi les étoiles. Classes d'étoiles « anormales » : géantes rouges, naines, blanches, étoiles pulsantes. Les naines blanches et l'agonie du soleil. Formation des étoiles et des planètes. 162 p. 16 x 21, 68 fig. 1960..... NF 7,40

ORIGINE ET ÉVOLUTION DES MONDES (Schatzman E.). Situation de la connaissance. Le système solaire. Les étoiles. Origine et évolution des étoiles et des systèmes : Structure interne et évolution. L'origine des étoiles et des systèmes d'étoiles. Les nébuleuses extragalactiques et la cosmologie : Position du problème. Les données de l'observation. Théories cosmologiques. L'origine du système solaire : Introduction. La théorie nébulaire. Les autres théories. Appendices. 408 p. 14 x 19, 43 fig., 8 photos hors-texte, 37 tableaux NF 15,00

LA STRUCTURE DE L'UNIVERS (Whitrow G.J.). Traduit de l'anglais par Vaucouleurs (G. de). Les profondeurs de l'Univers. Espace et temps. Relativité. Modèles d'Univers. L'âge de l'Univers. La structure des nébuleuses. La cosmologie et l'A priori. 252 p. 13 x 20. 1955. NF 6,50

LA TERRE S'EN VA (Jacot L.). Position de la terre dans l'Univers. L'expansion de l'Univers. Énigmes du système solaire. Mystères de la terre. Histoire de la terre. L'âge de la terre. L'évolution de la planète ou des cataclysmes du passé aux épreuves de l'avenir. Résumé et conclusions. Appendices. 214 p. 14 x 20, 64 illustr. hors-texte. 1958 ... NF 19,00

L'ORIGINE DE LA TERRE ET DES PLANÈTES (Lévine B.). Traduit du russe par Brun A. et Gordeeva R. — Structure du système solaire. Evolution de la cosmogonie planétaire. Formation des planètes selon la théorie de O. Schmidt. Comment s'est formé le nuage de poussière et de gaz circum-solaire. La composition des planètes. Astéroïdes, météorites, comètes. Structure interne de la Terre. L'âge de la Terre. Conclusion. 88 p. 12,5 x 19,5, 20 fig., 4958 NF 1,00

NÉBULEUSES GALACTIQUES ET MATIÈRE INTERSTELLAIRE (Dufay J.). Atomes et molécules dans l'espace. Grains solides dans l'espace. Des atomes aux grains et des grains aux étoiles. La matière diffuse hors de la voie lactée. 492 p. 14 x 19, 51 fig., 1954 NF 16,50

L'EXPLORATION DES GALAXIES VOISINES PAR LES MÉTHODES OPTIQUES ET RADIO-ÉLECTRIQUES (G. de Vaucouleurs). Introduction et généralités. Morphologie et classification. Indicateurs de distances. Luminosité et dimensions. Spectres, couleurs et polarisation. Rayonnement radio-électrique. Rotation et masses. 156 p. 14 x 22,5, 47 fig., 6 tabl. et 18 pl. hors-texte 1958 NF 16,00

L'ASTRONOMIE NOUVELLE (Rousseau P.). Valeur humaine de l'Astronomie. Cette obscure clarté. L'observatoire d'aujourd'hui. La matière stellaire. Témoignage du nuage cosmique. Le nouveau ciel des radiotélescopes. L'architecture des galaxies. Aux frontières de l'espace. 367 p. 11,5 x 18, 51 fig., nouv. édit. 1958 NF 9,50

LES GRANDS PROBLÈMES DE L'ASTRONOMIE (Gauzit J.). Les applications de l'analyse spectrale à l'astronomie. Les dimensions de l'Univers. Les phénomènes solaires. La variété des étoiles. L'énergie atomique, source de la lumière et de la vie. Qu'y a-t-il entre les étoiles ? La Voie Lactée et la Galaxie. Les nébuleuses extragalactiques et l'expansion de l'Univers. L'âge de l'Univers. 184 p. 14 x 22, 15 fig., 16 pl. hors-texte, 2^e édit. 1957 NF 7,80

POUR COMPRENDRE L'ASTRONOMIE (Abbé Th. Moreux). Notre observatoire terrestre. Première étude de la Terre. La gravitation universelle. Le Soleil et les planètes. La Terre. La Lune. Les planètes supérieures. Les Étoiles. Les amas, les nébuleuses, la Voie Lactée. 222 p. 11 x 18, 95 fig., 1958 NF 4,95

POUR OBSERVER LE CIEL (Abbé Th. Moreux). Astronomie pratique : Construction d'une première lunette - Observation : La Lune et le Soleil - Les planètes - Les observations stellaires - Construction d'un cadran solaire - Le Calendrier - Comment on dresse une carte céleste. 204 p. 11 x 18, 94 fig. NF 4,20

POUR S'INITIER A LA MÉCANIQUE CÉLESTE (Abbé Th. Moreux). Comment fut fondée la mécanique

céleste. La gravitation universelle. Diamètres apparents, distances et parallaxes. Les Lois de Képler. Les masses. Les vitesses Les perturbations. 174 p. 11 x 18, 44 fig. 1949 NF 3,90

POUR COMPRENDRE L'ASTROPHYSIQUE (Rousseau P.). L'éclat des étoiles. La couleur des étoiles. Le Soleil. Spectres célestes. La chaleur des astres. Les révélations des raies spectrales. L'intérieur des étoiles. L'Astrophysique de demain. 192 p. 11 x 18, 58 fig. 1949 NF 3,90

LE CIEL SANS TÉLESCOPE (Ravigneaux P.). Les étoiles. Les planètes. Soleil et Terre. Soleil, planètes et Lune. Terre, planètes et étoiles. Cartes. 32 p. 16 x 25, 3 fig. et 3 pl., 1954 NF 3,50

NOTES PRATIQUES POUR LES OBSERVATEURS DÉBUTANTS (Texereau J.). Les instruments. Leur usage. Premiers exercices. Explications des données et notations de la « Revue des constellations ». L'observation du Ciel à l'œil nu et à la jumelle. 64 p. 16 x 24, 27 fig., 1959... NF 3,50

LA CONSTRUCTION DU TÉLESCOPE D'AMATEUR (Texereau J.). Considérations générales et projet. Réalisation du grand miroir. Miroir plan diagonal. Les oculaires. Partie mécanique de télescope. La Monture azimutale. Accessoires. Finition, réglages. L'instrument dans les conditions d'emploi réel. 136 p. 16 x 24,5, 70 fig., 1952... NF 6,60

ASTROPHOTOGRAPHIE D'AMATEUR (Texereau J. et Vaucouleurs G. de). L'astrophotographie à l'aide des appareils usuels. L'astrophotographie à l'aide des appareils spéciaux. La technique en astrophotographie. 94 p. 13,5 x 21, 59 fig., 1954..... NF 8,00

ATLAS CÉLESTE (Abbé Th. Moreux). Aspects du ciel visible dans nos régions pour chaque mois de l'année. 12 cartes du ciel avec explications, album 25 x 32..... NF 4,50

ASTRONAUTIQUE

L'ASTRONAUTIQUE (Ananoff A.). Bases du problème astronautique. De la fusée à poudre à la propulsion atomique. Réalisations et projets préaeronautiques. Le problème du véhicule cosmique. Trajectoires, distances et durées des voyages interplanétaires. 498 p. 13 x 20, 155 fig., 1950 NF 8,00

L'ASTRONAUTIQUE (Esnault-Pelterie R.). Mouvement de la fusée dans le vide, dans l'air. Densité et composition de la très haute atmosphère. Décente des gaz dans une tuyère. Combustion dans une chambre. Utilisation possible des fusées. Voyages interplanétaires. Intérêt de l'exploration planétaire. 250 p. 16 x 25, 19 fig., 9 pl. hors-texte, 1930 NF 4,80
Complément : 100 p. 16 x 25, nbr. fig., 1 pl. hors-texte, 1935 NF 2,50

LA PROPULSION PAR FUSÉES (Barrère M., Jau-motte A., Fraeys de Veubeke B. et Vandankerckhove J.). Propriétés énergétiques de la propulsion par fusées. Tuyères propulsives et paramètres caractéristiques des moteurs-fusées. Généralités sur les fusées à propergol solide. Les fusées à propergol solide avec surface de combustion quelconque. Étude générale des fusées à propergols liquides. Les propergols liquides. La technique expérimentale dans la propulsion par fusée. Les instabilités de combustion dans les moteurs. Fusées à propergols liquides. Instabilités de basse fréquence. Étude des instabilités de haute fréquence. Balistique externe : engins non guidés, principes de guidage, accélérations transversales, trajectoires optimales. 392 p. 16 x 25. Nbr. fig., 1957..... NF 79,00

LE VOL DANS L'ESPACE COSMIQUE (Sternfeld A.). Traduit du russe par Kolodkine P. A travers l'atmosphère dans l'espace interplanétaire. Dans le monde de la pesanteur accrue et dans le monde sans pesanteur. De l'utopie à la science du vol cosmique. La fusée. Histoire du développement des fusées. Présent et avenir de l'emploi de la fusée. De la fusée stratosphérique à la fusée cosmique. Les vols dans l'espace interplanétaire. Utopie d'hier, réalité de demain 195 p. 11 x 18, 25 fig., 1954 NF 3,20

VOYAGE VERS LES MONDES LOINTAINS (Guilzine K.). Traduit du russe par Baïkov I. De la fantaisie à la science. Le moteur merveilleux. A l'assaut de l'espace cosmique. La « domestication » de l'espace cosmique. L'homme et l'espace cosmique. Un coup d'œil dans l'avenir. 254 p. 16,5 x 21,5. Très nombreuses figures. Relié toile, sous jaquette couleurs. 1958 NF 4,50

VICTOIRE SUR L'ESPACE. La leçon des satellites et de la conquête lunaire. (Ducrocq A.). Industrie et programmes astronautiques. Découverte de l'atmosphère. Les satellites jaugent notre planète. Messages transmis par les engins spatiaux. Les ceintures de radiations autour de la Terre. Conquête de la stabilisation. Les techniques de récupération. L'homme dans l'espace. Premières évasions vers la Lune. L'auto-guidage : Lunik II. Les arcanes de la balistique planétaire. Les voyages vers Vénus et Mars. 328 p. 14 x 20. 29 fig. 1959 NF 13,50

LES SATELLITES ARTIFICIELS ET L'ASTRONAUTIQUE (André R.). Bref historique. Les fondements de l'aéronautique. Les trajectoires possibles des satellites artificiels. Lancement des satellites. Utilisation des satellites artificiels. L'exploration de l'Univers. 134 p. 15 x 21. 55 fig. 1959 NF 7,80

LUNE, AN 1. Ouvrage réalisé par une équipe de 9 savants soviétiques. Traduit du russe par Kolodkine P. et adapté par P. de Latil. 192 p. 15 x 21. 140 photos en noir et en couleurs. Cartonné. 1959 NF 10,00

LA ROUTE DU CIEL EST OUVERTE (Schütte K.). La vie existe-t-elle sur d'autres planètes et d'autres étoiles? L'aéronautique en tant que problème international. Principe fondamental des fusées et vol spatial sans équipage. Année géophysique internationale et projets américains de lancement de satellites. Premiers satellites artificiels. Vol spatial avec équipage. Stations spatiales. Voyage vers la Lune. Premiers résultats des observations faites à partir de satellites artificiels. Perspectives. 212 p. 14 x 22. 42 fig. 1959 NF 9,60

CIEL DES HOMMES (Léonard J.-N.). Traduit de l'anglais par Héliard P. L'homme pourra-t-il bientôt quitter la Terre pour gagner d'autres planètes? Une mise au point de tous les problèmes soulevés par le vol interplanétaire. 280 p. 16 x 21. 32 photos hors-texte, 1955 NF 9,60

COMMANDOS POUR L'UNIVERS. Guide de l'Astronautique (May R.). Conquête de la banlieue terrestre: Le petit monde des satellites. La « capsule spatiale ». Conquête de la Lune: Ce qui va se passer sur la Lune. Conquête du système solaire: Planètes artificielles. Carburant pour le système solaire. Des satellites pour Vénus. 1980: Un commando sur Mars. Les curiosités du système solaire. Conquête de l'Univers: L'art d'interroger l'Univers. A la poursuite d'autres mondes habités. L'Univers à notre portée. 222 p. 15 x 20. 20 planches photos hors-texte. 11 fig. Cartonné, sous jaquette couleurs, 1960... NF 9,60

ROUTE DES ASTRES (Moore P.). (Coll. « Découvertes ».) Version française d'A. de Noblet. Télescopes et astronomes. La Terre et les étoiles. L'attraction terrestre. Aéronefs et fusées. Vers la Lune. Exploration des planètes. Raid sur Mars. Près du Soleil. Dans les profondeurs. Dangers du Ciel. Les Univers inaccessibles. Messages à travers l'espace. Galaxies. A l'aube d'une ère nouvelle. 242 p. 16 x 21,5. Nbr. photos et illustrations. 1955 NF 7,50

LA VIE SUR D'AUTRES MONDES ? (Spencer Jones H.). Traduit de l'anglais par Mamontoff C. Image de l'Univers. Conditions nécessaires à l'existence de la vie. Méthodes d'investigation. Évolution de l'atmosphère terrestre. Mondes sans atmosphère. Les planètes géantes. Vénus, sœur jumelle de la Terre. Mars, la planète de la vie en déclin. Origine du système solaire. Au delà du système solaire. 180 p. 15 x 22. 8 planches photos. 1958 NF 6,80

LA VIE DANS L'UNIVERS (Oparine A. et Fessenkov V.). Traduit du russe par Tsipine M. — La vie et son apparition. La situation du Soleil dans l'Univers. Traits fondamentaux de la structure et de l'origine du système solaire. Considérations générales relatives à la structure et à l'évolution des atmosphères de la Terre et des planètes. Conditions physiques et possibilités de vie sur la Lune. Les planètes géantes. Nos voisins les plus rapprochés : Mars et Vénus. La vie dans l'Univers. 250 p. 13 x 19,5. 48 fig., 1958 NF 2,50

LES MYSTÈRES DE L'ESPACE ET DU TEMPS. (Wilkins H.-P.). Mystères sur la Terre. Objets volants dans l'espace. Le mystère de la Lune. Le mystère de Mars. Mystères du Soleil et des planètes. Fantômes de l'espace. Parmi les étoiles. 206 p. 14 x 22,5. 3 fig. et 8 pl. hors-texte. 1956 NF 9,00

Les commandes doivent être adressées à la **LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE**, 24, rue Chauchat, Paris (9^e). Elles doivent être accompagnées de leur montant, soit sous forme de mandat-poste (mandat-carte ou mandat-lettre), soit sous forme de virement ou de versement au Compte Chèque Postal de la Librairie: Paris 4192-26. Au montant de la commande doivent être ajoutés les frais d'expédition, soit 10 % (avec un minimum de NF 0,90). Envoi recommandé: NF 0,60 de supplément.

Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

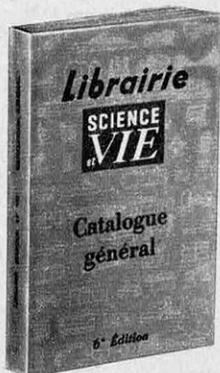
Tous les ouvrages signalés dans cette rubrique sont en vente à la

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

24, rue Chauchat, Paris-IX^e - Tél. : TAI. 72-86 - C.C.P. Paris 41 92-26

UNE DOCUMENTATION INDISPENSABLE ►

Notre CATALOGUE GÉNÉRAL (6^e édition 1959). 5 000 titres d'ouvrages techniques et scientifiques sélectionnés et classés par sujets en 35 chapitres et 180 rubriques. 425 pages, 13,5 x 21. Poids : 475 g Franco NF 3,50



Saisissez l'occasion...

POUR DEVENIR PAR CORRESPONDANCE

TECHNICIEN OU
INGÉNIEUR EN
ÉLECTRONIQUE

ET TOUTES LES PORTES VOUS SERONT OUVERTES
INDUSTRIE · COMMERCE · RADIO
RECHERCHES · TÉLÉVISION



ALBERT
PAYAN

PREMIÈRE LEÇON GRATUITE SUR SIMPLE DEMANDE

Si vous êtes satisfait vous ferez plus tard des versements minimes de 12,50 NF à la cadence que vous choisirez vous-même. A tout moment vous pourrez arrêter vos études sans aucune formalité. NOTRE ENSEIGNEMENT EST A LA PORTÉE DE TOUS ET NOTRE MÉTHODE VOUS ÉMERVEILLERA !

École Pratique de l'ÉLECTRONIQUE

RADIO - TÉLÉVISION

11, Rue du 4 Septembre, Paris 2^e

NOUS OFFRONS LES MÊMES AVANTAGES A NOS ÉLÈVES BELGES, SUISSES ET CANADIENS



Nouveauté

DES CRAIES ARTISTIQUES AUX MILLE RESSOURCES

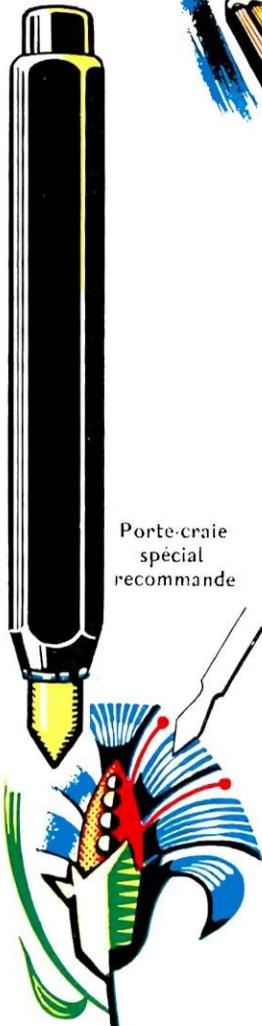
Par leurs qualités exceptionnelles les **CRAIES NEOCOLOR** sont particulièrement appréciées de l'artiste, du maquettiste, du décorateur. Exemptes de toute matière nocive, elles sont précieuses pour l'enseignement du dessin aux enfants.

D'UNE LUMINOSITÉ INCOMPARABLE
elles s'appliquent sur TOUT

Très fortement pigmentées et résistantes au soleil, les **CRAIES ARTISTIQUES NEOCOLOR** permettent de travailler, même en grande surface, sur papier, carton, bois, textile, métal, verre, plastiques, plâtre, etc

Elles satisfont à tous les genres

Les **CRAIES ARTISTIQUES NEOCOLOR** employées à sec permettent la technique du grattage. Diluées dans le FOTOL (diluant CARAN D'ACHE) ou la térébenthine, elles s'appliquent au pinceau donnant les effets de lavis ou de peinture à l'huile.



Porte-craie
spécial
recommandé

Effet de grattage

CARAN D'ACHE

chez votre papetier

En boîtes : 10, 15 et 30 couleurs

DISTRIBUÉ par CORECTOR-ADHÉSINE