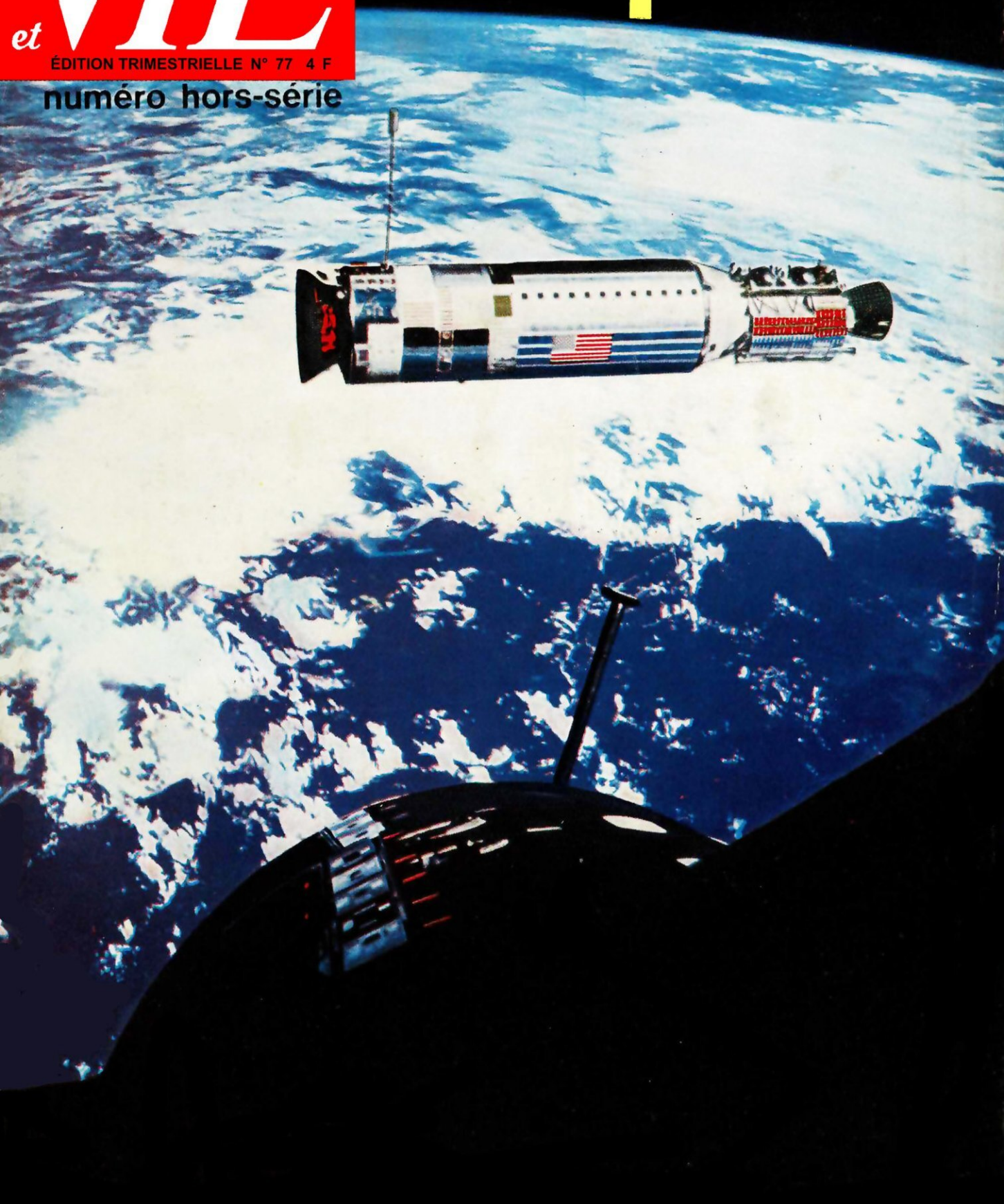


SCIENCE
VIE
et
ÉDITION TRIMESTRIELLE N° 77 4 F

numéro hors-série

l'espace



carrières de l'électronique

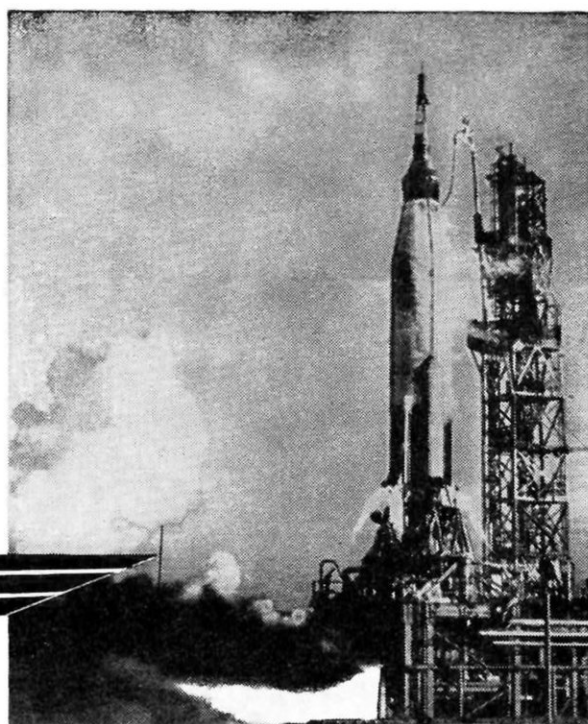
Cours du Jour
ou
Cours par Correspondance

•
Enseignement Général
et
Enseignement Technique
•

Pour tous renseignements :
Demander le Guide des Carrières
614 SV



FONDÉE EN
1919



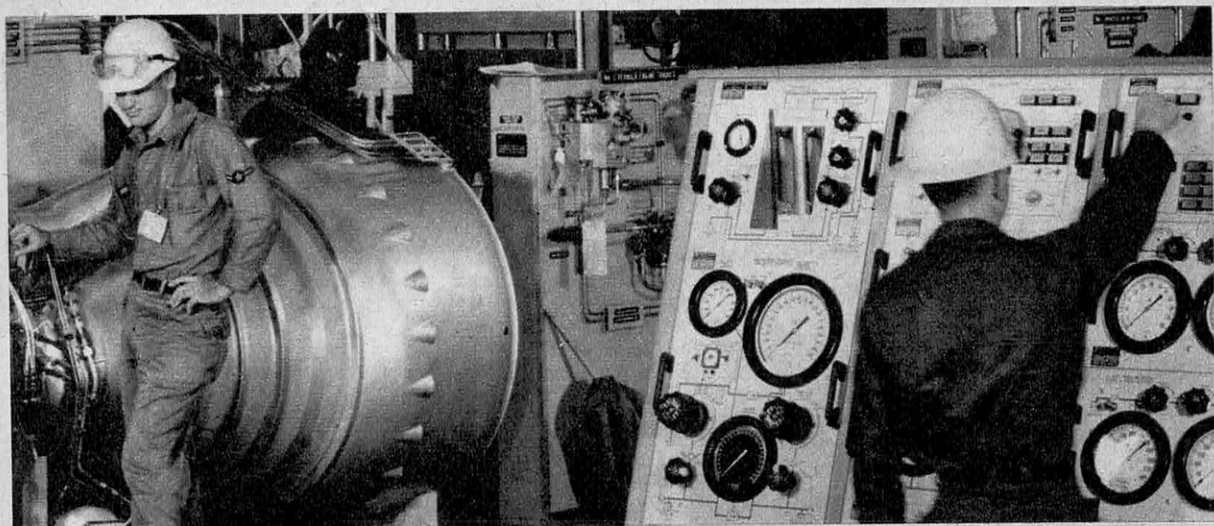
externat • internat
bourses d'Etat

admission à tous les niveaux: du CEP au Baccalauréat

ÉCOLE CENTRALE
des Techniciens
DE L'ÉLECTRONIQUE

RECONNUE PAR L'ÉTAT

12, RUE DE LA LUNE, PARIS 2^e • TÉL. : 236.78-87 +



importance primordiale DES SEMI-CONDUCTEURS ET TRANSISTORS à l'ère de l'espace

En effet, les performances exigées des dispositifs électroniques qui équipent satellites et engins spatiaux sont incompatibles avec les possibilités restreintes des tubes classiques.

Seuls les semi-conducteurs et transistors se prêtent à la miniaturisation nécessaire, supportent en raison de leur faible inertie les efforts considérables dus à l'accélération lors du lancement de ces engins et possèdent la sensibilité voulue pour être commandés à des millions de kilomètres de distance.

C'est pourquoi il est plus rationnel de former des électroniciens en leur apprenant d'abord et surtout les techniques et applications des semi-conducteurs et transistors, et, en annexe, les principes et utilisations actuelles des tubes classiques.

C'est le but de notre cours: «SEMI-CONDUCTEURS, TRANSISTORS ET APPLICATIONS (SCT.O)».

quelques
références

Des firmes comme :

S.O.M.E.S. (Sté d'Exploitation pour la mise en œuvre d'Engins Spatiaux)

C.I.T. (Cie Industrielle des Télécommunications)

S.N.E.C.M.A. (Sté Nationale d'Étude et de Construction de Moteurs Aéronautiques)

ont souscrit ce cours pour la formation de leurs techniciens.

RIB

Une documentation vous sera adressée, sans aucun engagement, sur demande à :

I.T.P. Service A1.69, rue de Chabrol, PARIS X^e, 770-81-14

BENELUX : **I. T. P.** Centre administratif — 5, Bellevue, **WEPION** (Namur)

CANADA : Institut **TECCART** — 3155, rue Hoche laga — **MONTREAL 4**



ACTIVITÉS SPATIALES

- Radars de champs de tir d'engins balistiques et spatiaux: types "AQUITAINE", "BRETAGNE", "BÉARN", "ADOUR".
- Stations interférométriques de poursuite de satellites, type "DIANE".
- Stations de télémessure et de télécommande pour engins spatiaux.
- Stations de télécommunications par satellites.
- Systèmes de satellites de télécommunications, de météorologie, de navigation.
- Équipements de télémessure, de télécommande, de localisation à bord des engins et vaisseaux spatiaux.
- Composants électroniques spatiaux, tubes à onde progressive, Vidicons, semi-conducteurs, circuits en couches minces, circuits hybrides et intégrés.
- Caméras de télévision pour satellites.
- Calculateurs électroniques spéciaux.
- Systèmes optiques et opto-électroniques, applications des Lasers.
- Alimentation électrique des vaisseaux spatiaux: piles à combustible, cellules solaires, conversion thermoionique nucléaire et solaire.
- Propulsion électrique.
- Matériaux de réentrée et matériaux supraconducteurs.
- Simulation d'environnement spatial.

THOMSON CFTH HOUSTON

COMPAGNIE FRANÇAISE
THOMSON HOUSTON - HOTCHKISS BRANDT
173 bd Haussmann - Paris 8^e - Tél.: 256.96.00

OBJETS VOLANTS NON IDENTIFIÉS

- 1) Étude de cet important problème à la lumière de faits scientifiques souvent méconnus.
- 2) Publication de nombreux rapports d'observations du monde entier.
- 3) Vaste réseau de détection de ces objets. Ceux-ci émettant parfois un flux magnétique assez local, il est possible de les détecter de temps en temps, à l'aide d'appareils scientifiques appropriés.

Demandez 1 spécimen gratuit (c'est sans aucun engagement de votre part) à la revue

« LUMIÈRES DANS LA NUIT »

43-Le Chambon-sur-Lignon.



...Ainsi, vous
survolerez le sol
lunaire...

CERF 20, Quai de la Mégisserie
PARIS (1er) (Métro : Pont-Neuf ou Châtelet)



**LUNETTE ASTRONOMIQUE
GALAXIE**

A 60 "nouveau modèle" (Japon)

- Ø de l'objectif : 60 mm
 - Focal : 700 mm
 - 6 grossissements (de 35 à 284 fois)
 - de nombreux accessoires accompagnent cet appareil d'un maniement très simple, mais d'une qualité remarquable.
 - Il est livré en coffret bois,
- 495,00 F**
au prix exceptionnel de...
(au lieu de 545,00 F)

VOUS AUREZ VOTRE

situation assurée

QUELLE QUE SOIT
VOTRE INSTRUCTION
préparez un

DIPLOME D'ETAT

C.A.P. B.E.I. - B.P. - B.T.
INGENIEUR

avec l'aide du
**PLUS IMPORTANT
CENTRE EUROPEEN
DE FORMATION
TECHNIQUE**

PAR CORRESPONDANCE

Méthode
révolutionnaire (brevetée)
Facilités : Alloc. familiales,
Stages pratiques gratuits
dans des Laboratoires
ultra-modernes, etc...

NOMBREUSES REFERENCES
d'anciens élèves et des
plus importantes entrepri-
ses nationales et privées

en devenant
TECHNICIEN
dans l'une de ces

branches d'avenir

lucratives et
sans chômage

ELECTRONIQUE - ELECTRICITE -
RADIO - TELEVISION - CHIMIE -
MECANIQUE-AUTOMATION-AU-
TOMOBILE-AVIATION-ENERGIE
NUCLEAIRE-FROID-BETON AR-
ME-TRAVAUX PUBLICS-CONS-
TRUCTIONS METALLIQUES, ETC.

DEMANDEZ LA BROCHURE GRATUITE

A. 11

à :



ECOLE TECHNIQUE MOYENNE ET SUPERIEURE

36, rue Etienne-Marcel - Paris 2°

Pour nos élèves belges :

BRUXELLES : 22, Av. Huart-Hamoir - CHARLEROI : 64, Bd. Joseph II

TOUJOURS MIEUX et MOINS CHER
c'est notre devise



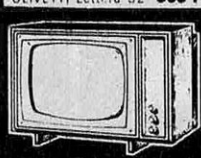
TOUTES LES MEILLEURES MARQUES
et uniquement les TOUTS DERNIERS
MODELES de l'année, avec MAXIMUM
de GARANTIES et de REMISES-CRÉDIT
pour tous articles avec mêmes remises.

**TOUTES
LES ÉCONOMIES**
que vous recherchez sur...



REMINGTON monarch 390 F
OLIVETTI Lettera 32 360 F

TÉLÉVISION, PHOTO-CINÉMA et acces-
soires, RADIO-TRANSISTORS, ELECTRO-
PHONES, MAGNETOPHONES, Machines
à écrire, Montres, Rasoirs, TOUT
L'ELECTRO-MÉNAGER: réfrigérateurs,
chauffage, machines à coudre, outillage
fixe ou portatif, tondeuses à gazon, ba-
teaux, moteurs, camping



MATELAS, SOMMIERS
CANAPES, FAUTEUILS

DOCUMENTATION GRATUITE sur demande grandes marques

RADIO J.S. 107-109, rue des HAIES
Maison de confiance fondée en 1933 PARIS XX* tél: PYR. 27-10
(4 lignes groupées)

Métra: Maraichers - Autobus 26: arrêt Orteaux
MAGASINS OUVERTS du LUNDI au SAMEDI inclus
de 9 h à 12 h et de 14 h à 19 h SERVICE après-vente
FOURNISSEUR Officiel des Administrations et Coopératives

ÉDITIONS DOIN - 8, Place de l'Odéon - Paris 6^e

Vient de paraître :

GUIDE DE L'ASTRONOME-AMATEUR

par Didier GODILLON

Membre de la Société Astronomique de France

Un vol. 18 x 25 de 608 pages avec 330 figures dans
le texte, une carte de la lune hors texte, et un calen-
drier de l'observateur contenant coordonnées et
caractéristiques de plus de 600 objets (étoiles doubles,
étoiles variables, amas et nébuleuses)
Cartonné 66 F

Après la révision de notions élémentaires, le lecteur
trouvera près de 200 pages sur la construction, le
réglage et l'utilisation des instruments, de la petite
lunette hâtivement bricolée à l'observatoire complet.
Une troisième partie traite de l'astronomie, mettant
à la portée de tous les dernières découvertes et en
indiquant, dans chaque cas, la technique à employer et
les observations accessibles selon l'importance de l'in-
strument. Ce livre se termine par une liste de plus de
600 objets (étoiles doubles, variables, amas, nébuleu-
ses, galaxies) accessibles surtout aux petits et moyens
instruments. Cette liste est présentée d'une façon
absolument inédite et surtout pratique.

Le GUIDE DE L'ASTRONOME-AMATEUR se suffit ;
plus besoin de traités d'optique, de précis et de ma-
nuels de cosmographie. Sa lecture, facile comme un
roman, transformera un néophyte en amateur averti.

DECOUVREZ L'ELECTRONIQUE!

PAR



LA
PRATIQUE

Un nouveau cours par correspondance - très moderne - accessible à tous
- bien clair - SANS MATHS - pas de connaissance scientifique pré-
alable - pas d'expérience antérieure. Ce cours est basé uniquement sur
la PRATIQUE (montages, manipulations, utilisations de très nombreux
composants) et L'IMAGE (visualisation des expériences sur l'écran de
l'oscilloscope).

Que vous soyez actuellement électronicien, étudiant, monteur, dépanneur,
aligneur, vérificateur, metteur au point, ou tout simplement curieux,
LECTRONI-TEC vous permettra d'améliorer votre situation ou de préparer
une carrière d'avenir aux débouchés considérables.

ET



L'IMAGE

1 - CONSTRUISEZ UN OSCILLOSCOPE

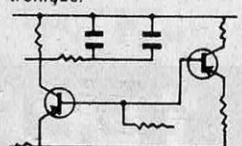
Le cours commence par la construc-
tion d'un oscilloscope portatif et
précis qui restera votre propriété. Il
vous permettra de
vous familiariser avec
les composants utili-
sés en Radio-Télévi-
sion et en Électroni-
que.



Ce sont toujours
les derniers modèles
de composants qui
vous seront fournis.

2 - COMPRENEZ LES SCHÉMAS DE CIRCUIT

Vous apprendrez à
comprendre les schémas de
montage et de circuits em-
ployés couramment en Élec-
tronique.



3 - ET FAITES PLUS DE 40 EXPÉRIENCES

L'oscilloscope vous servira à vérifier et à
comprendre visuellement le fonctionnement de
plus de 40 circuits :

- Action du courant dans les circuits
- Effets magnétiques
- Redressement
- Transistors
- Semi-conducteurs
- Amplificateurs
- Oscillateur
- Calculateur simple
- Circuit photo-électrique
- Récepteur Radio
- Émetteur simple
- Circuit retardateur
- Commutateur transistor

Après ces nombreuses manipulations et ex-
périences, vous saurez entretenir et dépanner
tous les appareils électroniques : récepteurs
radio et télévision, commandes à distances,
machines programmées, ordinateurs, etc...

Pour mettre ces connaissances à votre portée, LECTRONI-TEC a conçu
un cours clair, simple et dynamique d'une présentation agréable.
LECTRONI-TEC vous assure l'aide d'un professeur chargé de vous suivre,
de vous guider et de vous conseiller PERSONNELLEMENT pendant toute
la durée du cours. Et maintenant, ne perdez plus de temps, l'avenir se
prépare aujourd'hui : découpez dès ce soir le bon ci-contre.

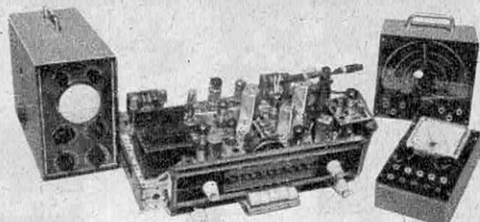
LECTRONI-TEC

GRATUIT: sans engagement - brochure en couleurs
de 20 pages. BON N° VS E (à découper ou à recopier)
à envoyer à LECTRONI-TEC 35-DINARD (France)

Nom : _____
Adresse : _____ (majuscules)
S. V. P.)

devenez L'ELECTRONICIEN n° 1

COURS D'ELECTRONIQUE GÉNÉRALE



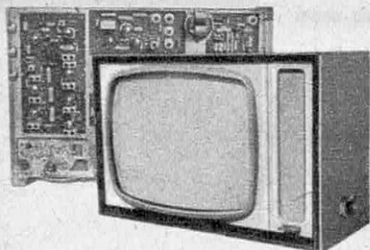
70 leçons, théoriques et pratiques. Montage de récepteurs de 5 à 11 lampes : FM et stéréo, ainsi que de générateurs HF et BF et d'un contrôleur.

COURS DE TRANSISTOR

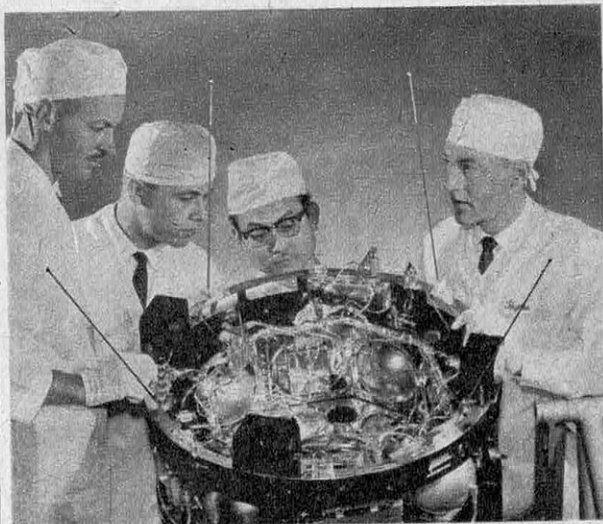


70 leçons, théoriques et pratiques. 40 expériences. Montage d'un transistoromètre et d'un récepteur à 7 transistors, 3 gammes.

COURS DE TÉLÉVISION



40 leçons, théoriques et pratiques. Noir et couleur. Montage d'un récepteur 2 chaînes à grand écran.



Préparez votre Avenir dans l' ELECTRONIQUE

la plus vivante des Sciences actuelles car elle est à la base de toutes les grandes réalisations techniques modernes et nécessite chaque jour de nouveaux spécialistes.

Votre valeur technique dépendra des cours que vous aurez suivis. Depuis plus de 25 ans, nous avons formé des milliers de spécialistes dans le monde entier. Faites comme eux et découvrez l'attrait passionnant de la

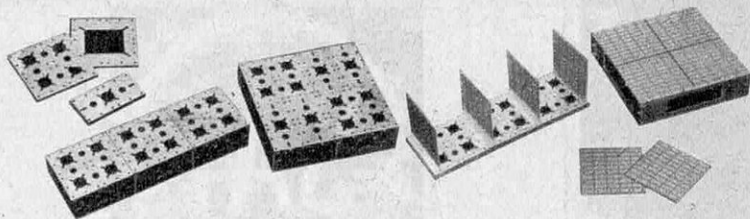
MÉTHODE PROGRESSIVE

pour préparer votre Avenir. Elle a fait ses preuves, car elle est claire, facile et pratique.

Tous nos cours sont conçus pour être étudiés FACILEMENT chez SOI :

- La THEORIE avec des leçons grand format très illustrées.
- La PRATIQUE avec un véritable laboratoire qui restera votre propriété.

En plus des composants électroniques, vous recevrez nos PLATINES FONCTIONNELLES, qui permettent de monter en quelques minutes le support idéal pour n'importe quelle réalisation électronique à lampes - pour les transistors les nouveaux CIRCUITS IMPRIMÉS MCS (module connexion service).



Seul l'INSTITUT ELECTORADIO peut vous fournir ces précieux éléments spécialement conçus pour l'étude ; ils facilitent les travaux pratiques et permettent de créer de nouveaux modèles.

Quelle que soit votre formation, SANS ENGAGEMENT et SANS VERSEMENT PREALABLE, vous choisirez dans notre programme le cours dont vous avez besoin.

AVEC L'INSTITUT ELECTORADIO VOUS AUREZ LA GARANTIE D'UNE LONGUE EXPÉRIENCE

Notre Service Technique est toujours à votre disposition gratuitement.

DÉCOUPEZ (OU RECOPIEZ) ET POSTEZ TOUT DE SUITE LE BON CI-DESSOUS

Veuillez m'envoyer vos 2 manuels en couleurs sur la Méthode Progressive pour apprendre l'électronique.

Nom

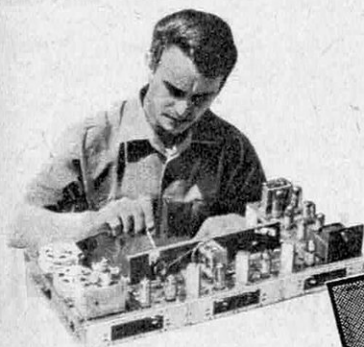
Adresse

Ville

Département

(Ci-joint 2 timbres pour frais d'envoi)

V



GRATUIT

INSTITUT ELECTORADIO

- 26, RUE BOILEAU, PARIS (XVI^e)

à par deux points, etc.

TRE ARGO

Justice d'Ét

EYRE

Diamant
TELEMESURE AJAX

S. 4 28" PUBLICITÉ - PARIS

6

L'HYDRE

Alphard

LE GANCER

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

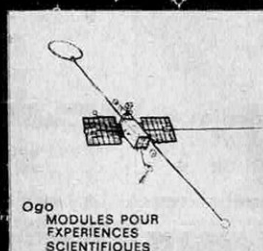
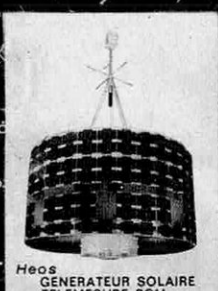
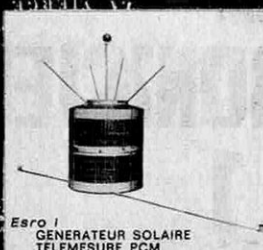
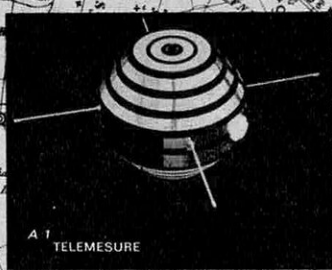
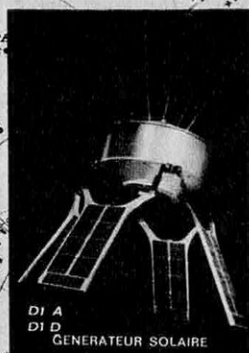
LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON

LE LÉON



SOCIÉTÉ
ANONYME
DE
TÉLÉCOMMUNICATIONS

41, rue Cantagrel - PARIS 13^e
Téléphone : 707 37-29
PARIS * CACHAN * DOURDAN
LANNION * MONTLUÇON * RIOM



l'espace

numéro hors-série

sommaire

La recherche spatiale dans le monde	8
La compétition U.S.A.-U.R.S.S.	29
La propulsion	40
Satellites et sondes scientifiques	57
Physiologie spatiale	66
La course à la Lune	74
Télécommunications, météorologie, navigation ..	108
L'espace et son utilisation militaire	121
Le transporteur aérospatial	128
Droit spatial	138
Demain, les planètes	143

Directeur général : Jacques Dupuy
Rédacteur en chef : Jean Bodet

Direction, Administration,
Rédaction : 5, rue de la Baume,
Paris-8°. Tél. : Élysée 16-65.
Chèque postal : 91-07 PARIS.
Adresse télégr. : SIENVIE PARIS.

Publicité :

Excelsior Publicité
2, rue de la Baume, Paris (8°).
Tél. : Élysée 87-46.

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

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

TARIF DES ABONNEMENTS

POUR UN AN :

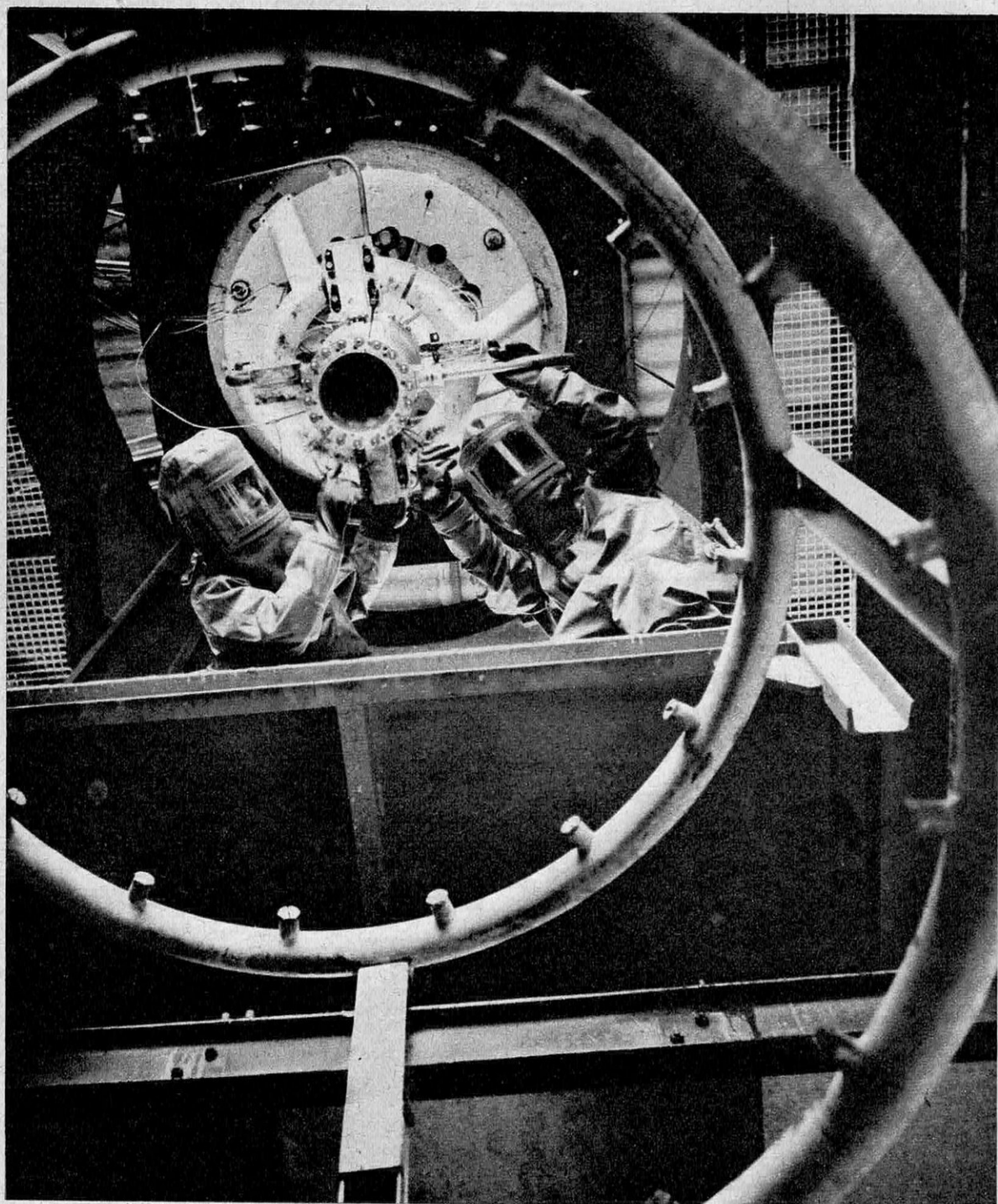
	France et États d'expr. française	Étranger
12 parutions	25, — F.	30, — F.
12 parutions (envoi recom.)	37, — F.	53, — F.
12 parutions plus 4 numéros hors série	38, — F.	45, — F.
12 parutions plus 4 numéros hors série (envoi recom.)	55, — F.	76, — F.

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 0,50 F en timbres-poste.

Belgique et Grand-Duché (1 an) Service ordinaire	FB 250
Service combiné	FB 400
Hollande (1 an) Service ordinaire	FB 250
Service combiné	FB 400

Règlement à Édimonde, 10, boulevard Sauvenière, C.C.P. 283.76, P.I.M. service Liège.
Maroc, règlement à Sochepress, 1, place de Bandoeng, Casablanca, C.C.P. Rabat 199.75.

La recherche spatiale dans le monde



Contrairement à ce que l'on pense généralement, la recherche spatiale n'est pas le privilège de quelques grandes nations. Certes, trois pays seulement ont jusqu'à présent réussi à placer des charges sur orbites avec des lanceurs nationaux. Ce sont l'URSS, les Etats-Unis et la France. Trois autres nations — Canada, Grande-Bretagne et Italie — ont construit des satellites que des fusées américaines ont lancés.

Mais l'espace est encore peu connu, même en ce qui concerne les basses couches de l'atmosphère. De par leur proximité, celles-ci peuvent être explorées à relativement peu de frais, avec des moyens limités et d'une technicité modeste. C'est ce qui a permis à de nombreuses nations de dresser des programmes d'exploration spatiale qui, pour limités qu'ils soient parfois, contribuent néanmoins très efficacement à l'acquisition d'une meilleure connaissance de l'espace qui nous entoure. Nous décrirons brièvement ici ces programmes.

Allemagne

Sans doute est-il inutile de rappeler la part prépondérante prise par des savants d'origine allemande travaillant à l'étranger dans la progression des recherches spatiales depuis quinze ans. Ce que l'on sait moins, c'est qu'à la veille de la cessation des hostilités, les Allemands étaient parvenus au seuil de l'astronautique.

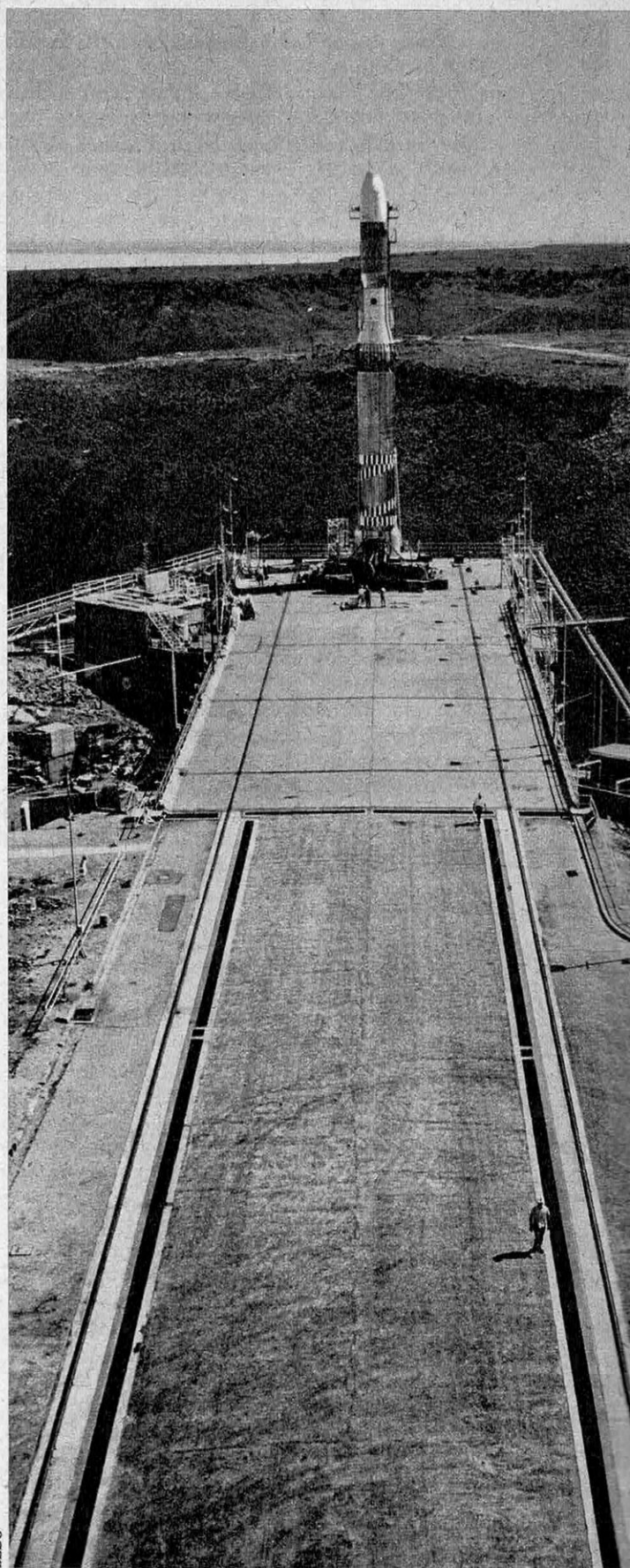
Cela devait conduire l'Allemagne à jouer un rôle important en ce domaine et, de fait, en 1962, un mouvement de recherches spatiales fut lancé sous les auspices du Ministère fédéral pour la recherche scientifique. Le département de la recherche spatiale a disposé en 1965 d'un budget de 180 millions de F environ, dont un tiers est consacré au programme national, le reste représentant la participation de l'Allemagne aux programmes internationaux ESRO (*European Space Research Organization*) et ELDO (*European Launcher Development Organization*).

Les projets nationaux allemands sont numérotés à partir de 620 et comprennent :

Projet 620 : création d'installations de recherches y compris de chambres de simula-

◀ Au centre de recherches de Lampoldshausen, deux ingénieurs de la firme Bölkow travaillent sur un moteur-fusée au banc d'essais destiné au 3^e étage d'Europa I.

▶ Le lanceur Europa I a été tiré deux fois avec succès en 1966 depuis la base de Woomera en Australie. Pour ces deux essais, le premier étage seul était actif.



tion, près de Munich, et de bancs de mise au point de moteurs-fusées, près de Brunswick et Heilbronn.

Projet 621 : une fusée sonde récupérable, en cours de mise au point par Dornier.

Projet 622 : systèmes de propulsion et carburants à haute énergie étudiés par la société Bölkow et le groupe de recherches ERNO (*Entwicklungsring Nord*) dans le cadre des programmes ELDO.

Projet 623 : étude par Junkers Flugzeug und Motorenwerke A.G. et l'ERNO d'un transporteur aérospatial récupérable.

Projet 624 : étude par l'industrie et les instituts de recherches de sources d'énergie, systèmes de propulsion électrique et autres concepts technologiques avancés.

Projet 625 A : premier satellite de recherches allemand (GRS, pour *German Research Satellite*), mis au point sous la direction de la Gesellschaft für Weltraumforschung GmbH. Dans le cadre d'un accord de 1965 avec la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) américaine, ce satellite d'étude des radiations sera lancé à l'automne 1968 par une fusée Scout, de la base de Vandenberg, en Californie, lors d'une pointe du cycle d'activité solaire.

Projet 625 B : ce deuxième satellite, plus gros, est étudié par l'industrie. Ce pourrait être un véhicule stabilisé pouvant transporter une variété de charges scientifiques et technologiques. Il serait lancé soit par l'ELDO, soit par la NASA, vers 1969.

Argentine

La Commission nationale argentine de recherches spatiales n'a pas, à cette date, lancé de programme de grande envergure mais joue un rôle non négligeable dans la poursuite des satellites et le recueil des informations. D'autre part, divers accords internationaux ont été signés avec le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) français et la NASA.

Au cours de l'année 1964, l'Argentine a tiré de nombreuses fusées-sondes françaises et américaines pour l'étude des vents dans les basses couches de l'atmosphère à l'aide de nuages de sodium, et de la couche E sporadique de l'ionosphère.

Le programme argentin a pris une certaine extension en 1965, avec notamment la signature d'un accord avec la NASA pour la mise en œuvre d'un réseau météorologique expérimental en Amérique du Sud, qui devrait être opérationnel dans les prochains mois.

Les installations au sol ont été considérablement améliorées par la construction d'une

station capable de recueillir en temps réel les documents photographiques pris par les satellites météorologiques ESSA ou encore les données obtenues en altitude par les détecteurs à grande résolution de Nimbus II, fonctionnant dans l'infrarouge. D'autre part, de nouveaux radars « Cotal » et « Super Cotal » de construction française ont été mis en service, tandis que la construction d'une station pour l'acquisition de télémesures des satellites a été entreprise.

La plus intéressante des expériences spatiales argentines en 1966 a été le lancement, le 12 novembre, de plusieurs fusées-sondes américaines et françaises à l'occasion de l'éclipse solaire observable de certaines régions d'Amérique du Sud.

Autriche

Depuis plusieurs années, les spécialistes autrichiens s'efforcent de promouvoir les recherches spatiales dans leur pays. On vient de terminer près de Gratz une station d'observation optique des satellites pour des études géodésiques. D'autre part, les équipements nécessaires pour la réception des images transmises par les satellites météorologiques ont été installés à Vienne.

Belgique

Très active dans le cadre des programmes européens, la Belgique n'a que des programmes nationaux symboliques. Les deux groupes les plus importants de ceux appartenant au Centre National de Recherches de l'Espace sont le groupe d'Astrophysique spatiale de l'Université de Liège et le groupe d'Etudes et de Recherches d'Aéronomie spatiale.

Le premier groupe a notamment réalisé, en collaboration avec l'Université d'Edimbourg, des expériences sur les nuages d'ammoniac en haute altitude, une étude sur l'ultraviolet lointain des aurores polaires et relevé une carte du ciel établie par satellite dans l'ultraviolet et l'infrarouge.

Le deuxième groupe a mené à bien la détermination de modèles atmosphériques entre 100 et 3 000 km d'altitude, vérifiant ainsi ses prévisions concernant la variation de la température de la haute atmosphère en fonction de l'activité solaire et les modifications de la structure de la haute atmosphère avec la diminution de l'activité solaire.

Brésil

L'activité spatiale est coordonnée et dirigée au Brésil par la Commission Nationale



Des techniciens préparent pour un essai en chambre à vide un prototype du satellite Alouette II (poids 83

kg). De conception entièrement canadienne, il a été placé sur orbite polaire par un lanceur Atlas-Agena.

de Recherches Spatiales dont le principal établissement est le laboratoire de physique spatiale établi à Sao José dos Campos.

Le champ de tir pour fusées-sondes, à 20 km au Sud de Natal, au voisinage immédiat de l'équateur magnétique, est opérationnel depuis le printemps 1966 et il doit être amélioré pour permettre le tir de fusées de grande taille comme les Aerobee.

Dans le cadre d'accords conclus entre la NASA et divers pays d'Amérique du Sud pour la réalisation d'un programme d'études météorologiques par fusées-sondes, une trentaine de tirs ont eu lieu en 1966. Des sondes Nike Apache et Nike Cajun pour l'étude de l'ionosphère ont aussi été lancées, et il faut noter encore les programmes d'observation des satellites et les expériences pour la mesure de la densité électronique de l'atmosphère.

Plusieurs modèles de fusées-sondes de conception nationale sont en cours d'expérimentation. Elle sont remarquables par leur simplicité et leur économie.

A la fin de 1966, deux stations d'acquisition de télémesures des satellites en temps réel étaient en cours de finition. Pour 1967, on prévoit la création d'une station de poursuite des satellites et la mise au point d'un

projet d'étude complète de l'anomalie ionosphérique équatoriale grâce au lancement de fusées-sondes.

De plus, un vaste programme d'expériences au sol, en avion et par fusées-sondes, a été exécuté à l'occasion de l'éclipse solaire de novembre 1966.

Canada

Le pôle Nord magnétique se trouve sur le territoire du Canada et un programme d'expériences relatives au champ magnétique terrestre ou à l'ionosphère était donc logique en ce pays. C'est sans doute l'une des principales raisons expliquant la création dès 1959 d'un Comité National Canadien de Recherches Spatiales.

Ce comité favorise la recherche, y compris à l'aide de fusées, au sein des universités. Six universités ont participé en 1962 à des tirs au départ de la base de Fort Churchill créée par les Américains dans le cadre de l'Année Géophysique Internationale. Le Canada a conçu et mis au point sa propre sonde Black Brant qui existe en plusieurs versions.

Dès le 29 septembre 1962, la NASA a lancé le satellite canadien Alouette dont une des principales missions consiste à mesurer heure par heure, à partir de zones situées au-dessus de l'ionosphère, la densité électronique que l'on ne mesurait en général jusque-là que par en dessous. Trois stations ont été construites pour la réception des informations recueillies par Alouette.

Toujours dans le domaine des satellites, Alouette II, ayant les mêmes missions que Alouette I, a été lancé en novembre 1965, tandis que trois satellites ISIS, (*International Satellites for Ionospheric Studies*) sont à l'étude pour mise sur orbite de 1967 à 1969. Complétant les informations ionosphériques recueillies par les Alouette, ces satellites emporteront de plus des sondes électroniques et ioniques, ainsi qu'un spectromètre de masse.

Enfin, le Canada effectue également des expériences de poursuite par radio (Spoutnik I en 1957, par exemple), d'acquisition de données, de poursuite visuelle et photographique. A la suite d'un accord USA-Canada, une station d'acquisition des données des satellites météorologiques a été installée, ainsi qu'une autre coopérant à la mise au point des satellites de télécommunications.

Danemark

La majeure partie des recherches spatiales danoises est le fait du Laboratoire de recherches ionosphériques de Copenhague qui

travaille sur un double plan, participant aux programmes européens et collaborant à la réalisation d'un programme national de lancement de fusées-sondes, en coopération avec les autres pays scandinaves.

Les tirs ont généralement lieu depuis le polygone norvégien d'Andøya. Au cours de 1966, une dizaine de dispositifs expérimentaux ont été construits dans le cadre de programmes de l'ESRO.

D'autre part, on envisage une campagne de tirs de fusées-sondes de petite taille à partir d'installations mobiles dans la zone aurorale du Groenland, aussi près que possible du Nord magnétique.

L'Institut de physique théorique de l'Université de Copenhague et l'Institut météorologique danois développent aussi quelques activités de recherche spatiale.

Égypte

Dans différents discours, le colonel Nasser a affirmé la proximité du lancement d'un satellite égyptien par un lanceur national. C'était pour la première fois il y a deux ans. Rien de plus précis n'a été publié.

Espagne

Jusqu'à présent, la recherche spatiale espagnole se limitait essentiellement à l'activité de stations de poursuite dans le cadre d'accords avec la NASA et le CNES (station des Canaries). Les stations espagnoles de la NASA ont été utilisées dans l'exécution des programmes Mercury et Gemini et le seront pour le projet Apollo.

Cependant, depuis avril 1966, la recherche spatiale espagnole a pris une direction beaucoup plus intéressante avec la conclu-

sion d'un accord entre la NASA et l'Institut National de Technique Aéronautique.

Cet accord prévoit la mise sur pied d'un polygone de tir de fusées-sondes et le lancement d'un certain nombre de ces engins porteurs de grenades devant exploser à haute altitude. Les sondes utilisées seront des Nike américaines.

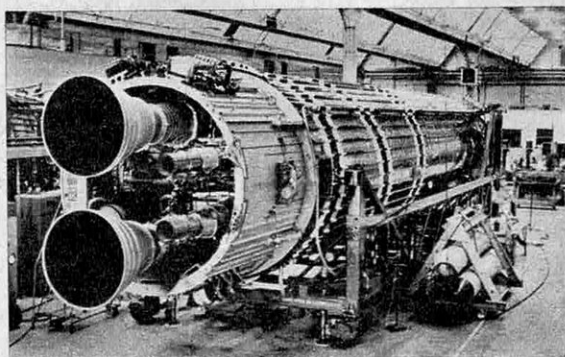
Europe

Les organismes internationaux européens de recherches spatiales sont au nombre de trois :

— l'European Launcher Development Organisation (E.L.D.O.) qui a pour mission la construction et la mise au point de lanceurs ;

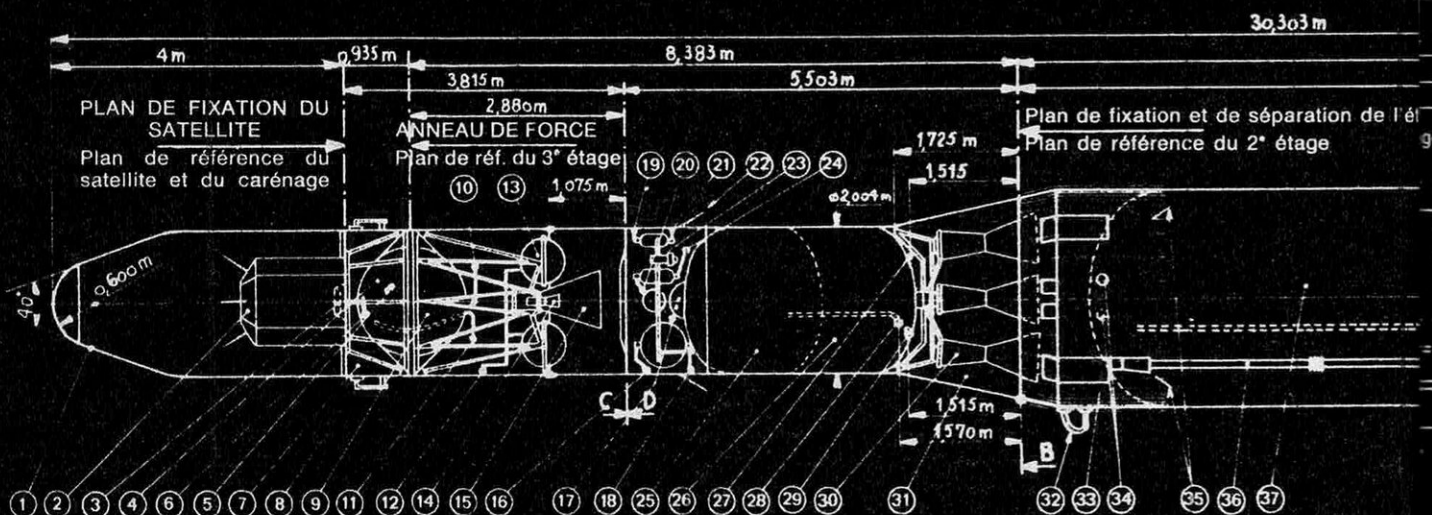
— l'European Space Research Organisation (E.S.R.O.) qui doit réaliser des satellites scientifiques ;

— La Conférence Européenne de Télé-

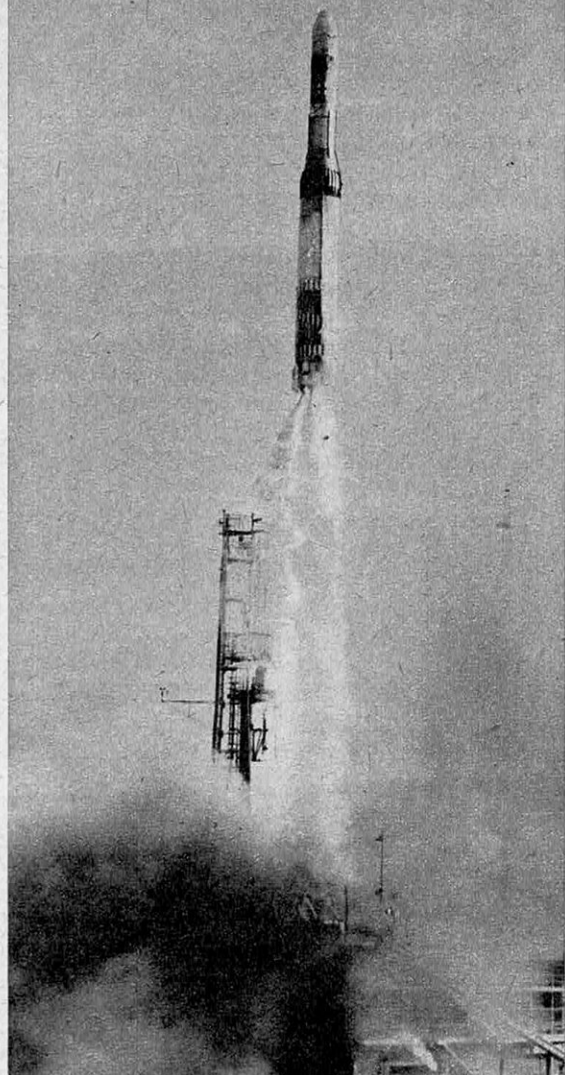


Premier étage du lanceur Europa I, le Blue Streak de Hawker Siddeley (ci-dessus)

comporte deux moteurs-fusées Rolls-Royce RZ-2 de 68 t de poussée chacun.



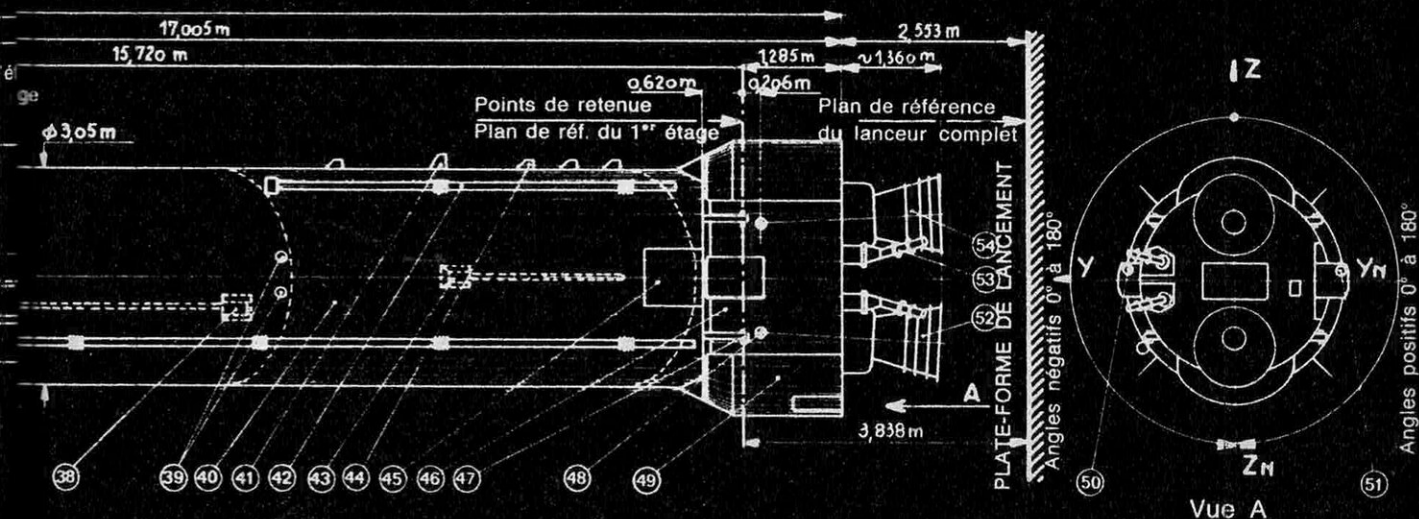
LA FUSÉE EUROPA I

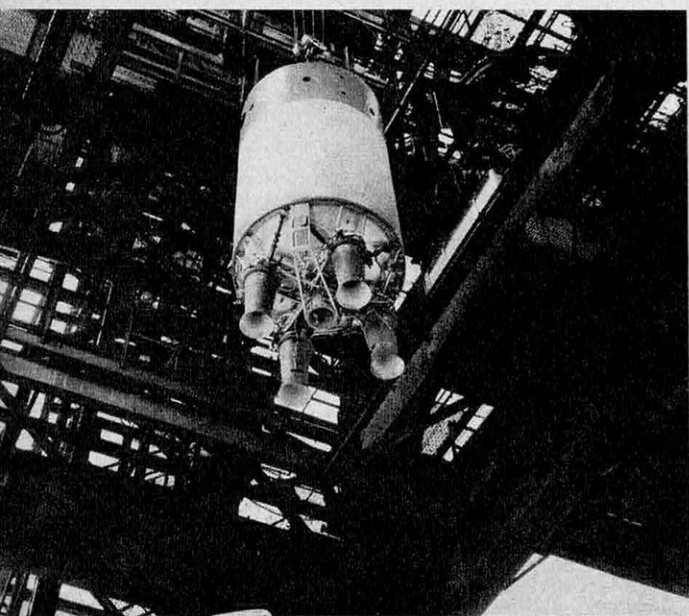


Cinq tirs du lanceur Blue Streak ont eu lieu jusqu'ici, les trois derniers en configuration

Europa (ci-dessus) avec deuxième étage, troisième étage et charge utile non actifs.

1. Carénage formant le compartiment du satellite.
2. Satellite expérimental.
3. Système d'injection du satellite expérimental.
4. Réservoir d'aérozine.
5. Trop-plein du réservoir de N_2O_4 .
6. Trop-plein du réservoir d'aérozine.
7. Compartiment des équipements du 3^e étage.
8. Antennes de télémesure (4).
9. Réservoir de N_2O_4 .
10. Raccord de remplissage du réservoir de N_2O_4 .
11. Raccord de remplissage du réservoir.
12. Raccord de remplissage des bouteilles d'hélium.
13. Bouteilles d'hélium.
14. Moteurs verniers du 3^e étage (2).
15. Propulseur principal du 3^e étage.
16. Trop-plein du réservoir auxiliaire d'eau.
17. Trop-plein du réservoir de N_2O_4 .
18. Raccord de remplissage du réservoir auxil. d'eau.
19. Trop-plein du réservoir auxiliaire d'UDMH.
20. Trop-plein du réservoir auxiliaire de N_2O_4 .
21. Raccord de remplissage du réservoir auxiliaire d'UDMH.
22. Antennes du système de sécurité.
23. Compartiment des équipements de l'étage (comprenant le système de pressurisation des réservoirs).
24. Raccord de rempliss. du réservoir auxil. de N_2O_4 .
25. Réservoir de N_2O_4 .
26. Réservoir d'UDMH.
27. Raccord de remplissage du réservoir de N_2O_4 .
28. Trop-plein du réservoir d'UDMH.
29. Raccord de remplissage du réservoir d'UDMH.
30. Propulseur du 2^e étage (4).
31. Compartiment de séparation du 2^e étage.
32. Antennes de télémesure.
33. Compartiment des équipements du 1^{er} étage.
34. Events du réservoir de LOX (oxygène liquide).
35. Antennes du système de sécurité.
36. Tuyaux de pressurisation du réservoir de LOX.
37. Réservoir de LOX.
38. Charges de destruction.
39. Events du réservoir de kérosène.
40. Réservoir de kérosène.
41. Gyromètre de lacet.
42. Tuyau de pressurisation du réservoir de kérosène (azote).
43. Gyromètre de tangage.
44. Détecteurs de niveau pour le kérosène.
45. Porte de visite.
46. Compartiment des propulseurs du 1^{er} étage.
47. Points de retenue.
48. Articulations des propulseurs.
49. Compartiment de l'équipement pneumatique et de pilotage.
50. Raccord de remplissage du kérosène.
51. Raccord de remplissage du LOX.
52. Propulseur du 1^{er} étage.
53. Tuyau d'échappement de turbine A.
54. Propulseur A du 1^{er} étage.





Coralie, mis au point par la France, sera le deuxième étage du lanceur Europa I. Des essais au banc (ci-

dessus) ont lieu actuellement au Laboratoire de Recherches Balistiques et Aérodynamiques de Vernon.

communications par Satellites (C.E.T.S.), dont les activités portent sur les télécommunications spatiales.

L'E.L.D.O. (appelé CECLES en France pour Centre Européen de Construction de Lanceurs d'Engins Spatiaux) est née d'une initiative franco-britannique de la fin 1960, basée sur l'utilisation « civile » du missile à longue portée Blue Streak pour la construction d'un lanceur à trois étages.

La Convention instituant l'E.L.D.O. fut adoptée en février 1962 par l'Allemagne, l'Australie, la Belgique, la France, l'Italie, les Pays-Bas et le Royaume-Uni.

La répartition des tâches fut la suivante : Royaume-Uni : premier étage, Blue Streak ; France : deuxième étage, Coralie ; Allemagne : troisième étage ; Italie : satellite expérimental ; Belgique : stations terrestres de guidage ; Pays-Bas : télémétrie, y compris les systèmes au sol ; Australie : champ de tir de Woomera.

A l'origine, les investissements étaient estimés à un milliard de F actuels, la fusée devant dès 1966 satelliser une charge de 1200 kg.

Le premier tir du Blue Streak (F — 1) eut lieu le 5 juin 1964 avec un léger retard. Deux autres vols balistiques (F - 2 et F - 3) étaient programmés avant la fin de 1964, trois autres tirs en 1965 avec maquettes des étages supérieurs et, dès 1966, vols opérationnels avec les trois étages actifs.

Ce programme ne put être tenu : le tir F - 4 n'eut lieu que le 19 mai 1966 et les crédits prévus à l'origine suffirent à peine à couvrir la mise au point du premier étage. Le tir F-5, en novembre dernier, comportant un premier étage actif et des étages supérieurs inertes a été un succès complet.

Les Français furent les premiers à émettre des doutes sur le bien-fondé de la poursuite du programme de la fusée Europa I dans sa formule initiale. C'était au début de 1965, et leurs partenaires parvinrent alors à les convaincre de poursuivre. Europa I n'était pas sauvée pour autant car, un an plus tard, ce fut au tour de la Grande-Bretagne de menacer de se retirer. On réaménagea les participations financières :

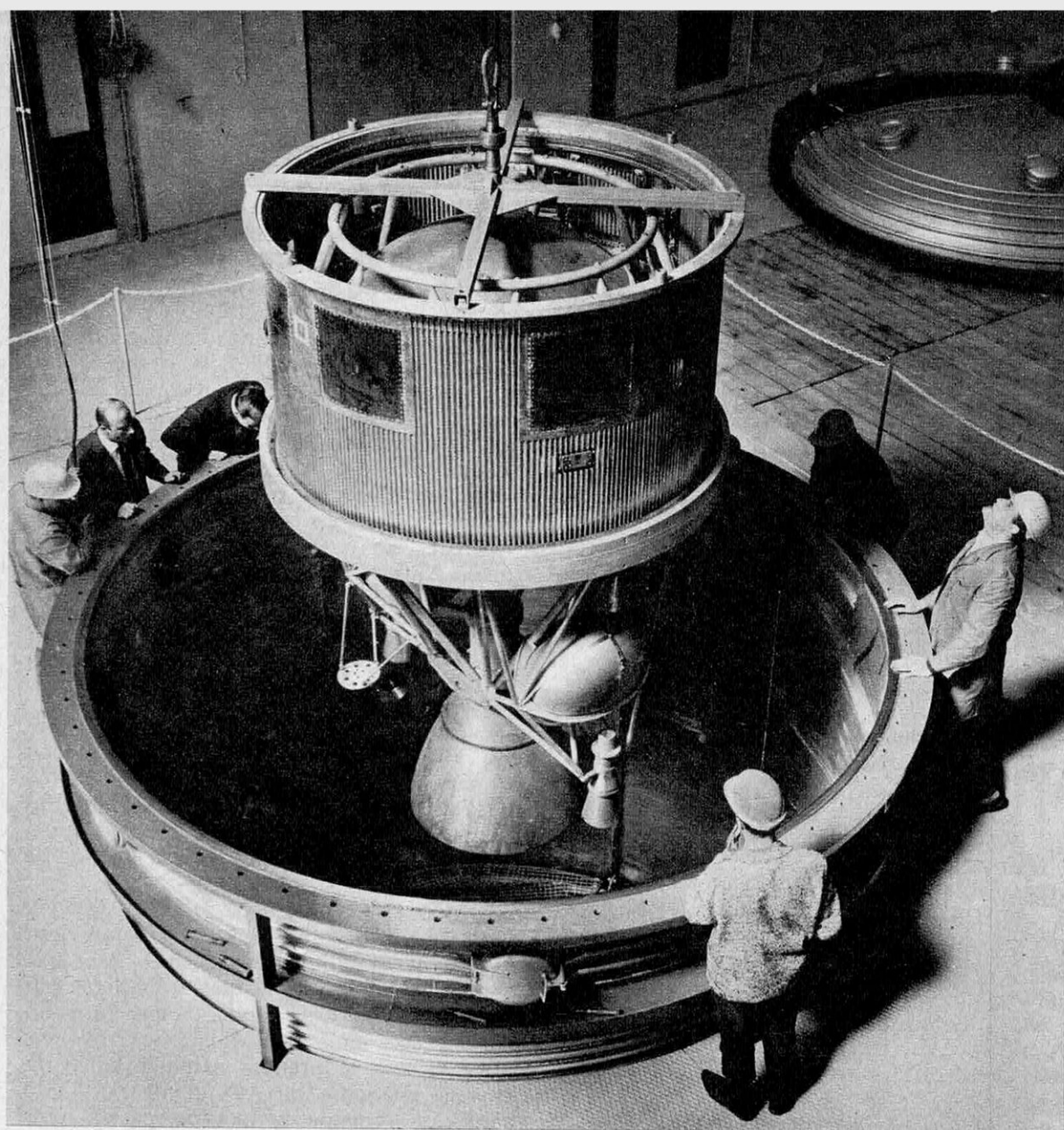
Grande-Bretagne : 27 % (contre 38,79 %) ; Allemagne : 27 % (contre 22,01 %) ; France : 25 % (contre 23,93 %) ; Italie : 12 % (contre 9,78 %) ; Belgique - Pays-Bas : 9 % (contre 5,49 %). Ainsi l'E.L.D.O. a été sauvée et a redémarré le 1^{er} janvier 1967 sur de nouvelles bases. Le sacrifice de 1,13 milliard (soit 3,13 milliards en tout) devrait permettre le lancement, en 1970, au départ du polygone de tir guyanais du C.N.E.S., de satellites de télécommunications géostationnaires grâce à une fusée appelée ELDO APS comportant cinq étages. Les deux derniers, à poudre, seront un moteur d'apogée et un moteur de périgée, qui agiront successivement pour placer le satellite « à poste fixe » au-dessus de l'équateur. L'Europe disposerait, ainsi, au début de la prochaine décennie, d'un système de télécommunications indépendant des Etats-Unis.

D'autres missions seraient sans aucun doute possibles pour le lanceur ELDO A, même sans ses deux étages complémentaires et, notamment, dans le cadre des projets de l'E.S.R.O. Mais, devant les retards subis par le lanceur européen, cet organisme demeure très prudent et, pour l'instant, paraît devoir utiliser des lanceurs de la NASA.

L'E.S.R.O. (appelé C.E.R.S. en France, pour Cercle Européen de Recherches Spatiales) est issu, en 1964, de la Commission Préparatoire Européenne pour la Recherche Spatiale créée en 1960. Les dix pays membres sont les suivants (avec le pourcentage de leurs cotisations) : Grande-Bretagne, 25 % ; Allemagne, 21,5 % ; France, 18,2 % ; Italie, 10,6 % ; Suède, 4,9 % ; Belgique, 4,2 % ; Pays-Bas, 4 % ; Suisse, 3,3 % ; Espagne, 2,5 % ; Danemark, 2 %.

Cette répartition a été calculée sur la base du revenu national brut.

L'E.S.R.O. comptera bientôt 1 350 cadres et employés répartis dans les centres d'activité suivants :



— ESTEC : Centre Technique implanté à Noordwijk (Pays-Bas) ;

— ESDAC : Centre d'Interprétation des données à Darmstadt (Allemagne) ;

— ESRIN : laboratoire de Recherches à Frascati (Italie) ;

— ESLAB : laboratoire proche d'ESTEC, aux Pays-Bas ;

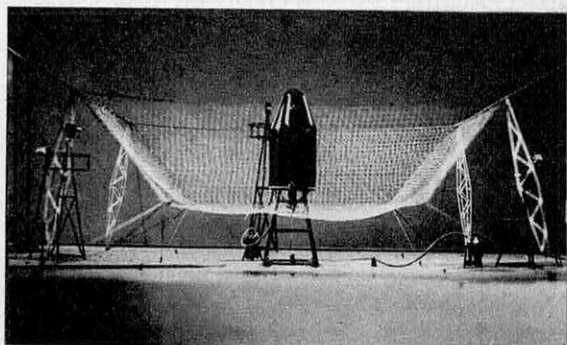
— ESRANGE : site de tir de fusées-sondes à Kiruna (Laponie suédoise) ;

— ESTRACK : stations au sol en Belgique, Norvège, Alaska et Iles Falkland.

La majorité du personnel se trouve à ESTEC, centre des activités techniques de l'ESRO ; ESRIN se concentre sur les travaux théoriques de physique, chimie et à l'étude des plasmas. La station belge d'ESTRACK aura des possibilités de poursuite et de télémétrie, à la différence des autres stations qui seront télémétriques seulement. Ce réseau ESRO sera complété par ceux de la NASA et du CNES.

La plus grande chambre à vide construite à ce jour en Allemagne (4 m de diamètre et 7 m de profondeur) est utilisée ici par les techniciens de Bölkow pour les essais du troisième étage actif de la fusée Europa I.

La charge satellisable du lanceur européen est actuellement en cours de réalisation en Italie et Fiat en est le maître d'œuvre. Cidessous, la coiffe du satellite est soumise à un essai de tenue à l'échauffement.



Le polygone de Kiruna, à 160 km au nord du cercle polaire, servira de cadre pour 60 % au moins des tirs de sondes de l'ESRO. Les études portent principalement sur l'étude du Soleil, des aurores boréales, des rayons cosmiques, des micrométéorites et sur des mesures du plasma solaire dans les couches E et F de l'ionosphère. Quarante à cinquante sondes seront mises à feu chaque année, le programme 1966 portant sur 36 tirs, dont certains du polygone national italien de Salto di Quirra en Sardaigne.

Les principales sondes utilisées sont la Skylark britannique et les Centaure et Dragon françaises, mais quelques Arcas américaines ont aussi été tirées, notamment en Grèce, à l'occasion de l'éclipse de Soleil du 20 mai 1966.

Le programme de satellites d'ESRO comprend actuellement :

— ESRO I, qui sera lancé en septembre 1967 par un accélérateur Scout de la NASA et qui doit recueillir des données sur l'ionosphère et les particules au-dessus du pôle Nord ;

— ESRO II, dont le tir doit intervenir en mars 1968, et étudiera la ceinture intérieure de Van Allen, les rayons X solaires et les radiations dans l'ultraviolet ;

— HEOS (pour *High Eccentric Orbiting Satellite*) qui sera lancé, en principe, en octobre 1968, en coïncidence avec un maximum solaire. Placé sur une orbite terrestre de très grande excentricité, il recueillera des informations sur les particules interplanétaires et dressera la carte de la magnétosphère terrestre ;

— la série des satellites TD (pour « Thor-Delta », nom du lanceur) sera composée de satellites orientés vers l'observation du Soleil et des étoiles. Les premiers contrats devaient être passés en 1966 et TD - I pourrait être lancé en 1970 avec neuf expériences à bord (astronomie, rayons X et gamma).

— le L.A.S. (*Large Astronomical Satellite*) est le projet le plus ambitieux du programme des huit premières années de l'ESRO et il sera réellement européen s'il peut être lancé, comme prévu, par ELDO A. Ce satellite stabilisé emportera un télescope de 80 cm sur une orbite de 480 km et pèsera près de 800 kg. Le premier lancement est prévu pour 1972-73, le contrat devant être passé avant la fin de 1966.

Finlande

Le Comité National de Recherches Spatiales s'intéresse principalement à l'observation des satellites artificiels et poursuit des expériences limitées de géodésie.

France

Les ambitions spatiales françaises ont commencé à se matérialiser en 1962 avec la formation du Centre National d'Etudes Spatiales (C.N.E.S.) qui coordonne toutes les activités spatiales non militaires.

Seule nation européenne disposant de son propre lanceur de satellite, la France a fait son entrée dans le club des Grands de l'Espace (U.S.A. et U.R.S.S.) en plaçant sur orbite en novembre 1965 son satellite technologique A 1.

Puis, en moins de trois mois, deux autres charges étaient placées sur orbite :

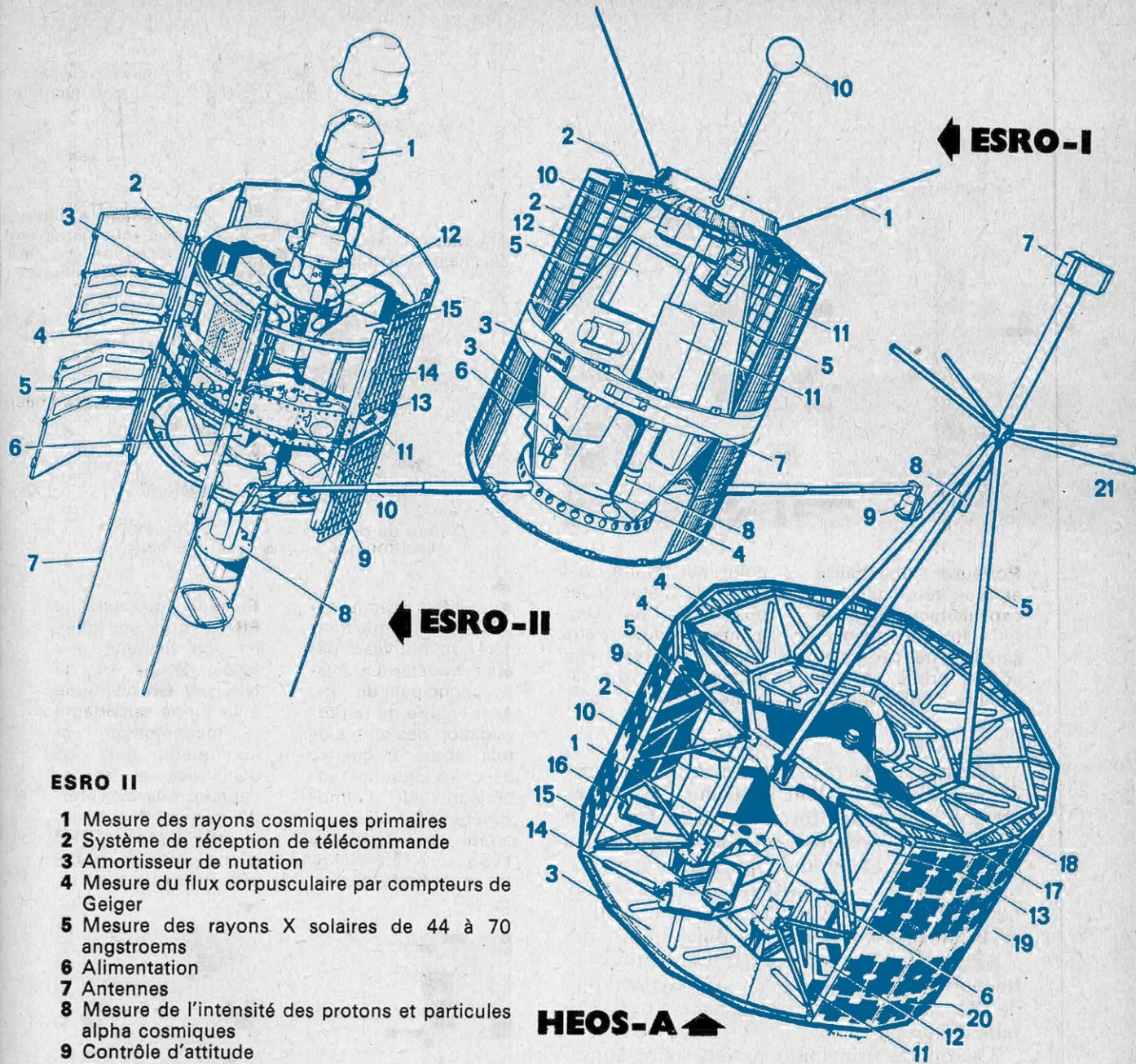
— FR - 1, conçu par le C.N.E.S. et le Centre National d'Etude des Télécommunications (C.N.E.T.) fut placé sur une orbite presque polaire, au départ de Vandenberg, par une fusée Scout de la NASA. Il étudie la propagation des ondes radio de très basses fréquences.

— D - 1 A, premier satellite 100 % français, a été placé sur orbite par le second Diamant. Il transmet toujours des informations sur la détérioration de ses batteries solaires et sert de banc d'essais aux équipements nationaux français. Il est utilisé, de plus, comme repère géodésique.

Au début de 1967, deux Diamant doivent placer sur orbite au départ d'Hammaguir (Algérie) les satellites D - 1 C et D - 1 D, très comparables à D - 1 A, mais complétés par 144 réflecteurs qui doivent répercuter un faisceau laser émis à St-Michel de Provence.

D - 2 sera le premier satellite lancé du nouveau polygone de tir guyanais. Cette charge de seconde génération pèsera près de 90 kg et sera stabilisée par rotation autour d'un axe orienté vers le Soleil par jet gazeux. D-2 est mis au point par le C.N.E.S. pour emporter à son bord cinq expériences conçues et préparées par le Service d'Aéronomie du C.N.R.S., comportant en particulier l'observation du rayonnement solaire. L'orbite choisie est inclinée à 45° sur l'Equateur, avec un périhélie supérieur à 450 km et un apogée inférieur à 900 km, performances compatibles avec un satellite de 90 kg lancé par un Diamant amélioré. La durée de vie envisagée est de six mois.

Le dernier satellite français actuellement prévu s'appellera FR - 2 ou D - 3, selon qu'il sera mis sur orbite par un Scout américain ou non. Il sera l'élément principal du système météorologique expérimental Eole dans lequel un satellite recueillera des informations sur la vitesse et la direction du vent en « interrogeant » des ballons libres dérivant autour du globe à altitude constante.



ESRO II

- 1 Mesure des rayons cosmiques primaires
- 2 Système de réception de télécommande
- 3 Amortisseur de nutation
- 4 Mesure du flux corpusculaire par compteurs de Geiger
- 5 Mesure des rayons X solaires de 44 à 70 angstroms
- 6 Alimentation
- 7 Antennes
- 8 Mesure de l'intensité des protons et particules alpha cosmiques
- 9 Contrôle d'attitude
- 10 Flux et spectre des rayons X solaires de 1 à 20 angstroms
- 11-16 Flux de protons solaires et de la ceinture de Van Allen
- 12 Masses du yoyo (freinage de la rotation)
- 13 Cellules solaires
- 14 Appareillage électronique d'enregistrement, codage et télémessure.

HEOS A

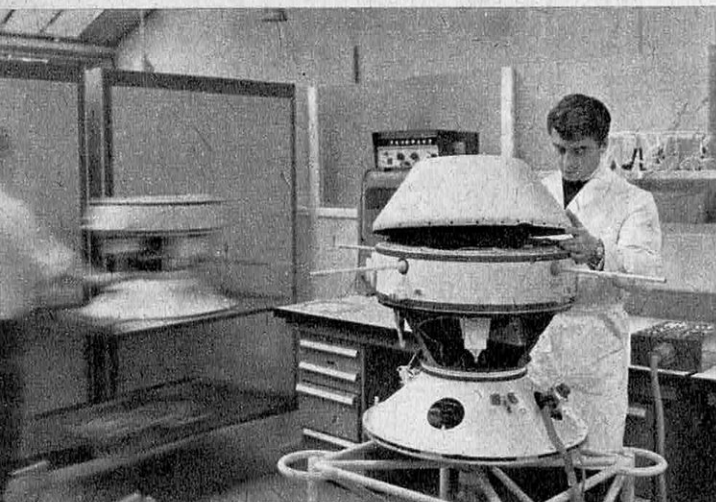
- 1 Adaptateur
- 2 Tube central octogonal
- 3 Protection thermique
- 4 Protection thermique
- 5 Mât tripode
- 6 Système d'éjection d'une capsule pour production d'un nuage artificiel d'ions.
- 7-8 Mesure du champ magnétique interplanétaire
- 9-10 Traitement des données sur les champs magnétiques
- 11-12 Mesure du flux et du spectre des particules cosmiques solaires ou galactiques

HEOS-A

- 13 Traitement des données rayons cosmiques
- 14 Senseur d'albedo
- 15-16 Senseur solaire
- 17 Réservoir sphérique d'azote sous pression
- 18 Valve de sécurité
- 19-20 Panneaux de cellules solaires
- 21 Antennes

ESRO I

- 1 Antennes
- 2 Cellules solaires
- 3 Senseur solaire
- 4 Cône central
- 5 Panneaux-supports des instruments
- 6 Aimant de stabilisation
- 7 Masses du yoyo (freinage de la rotation)
- 8 Photomètres (luminosité des aurores)
- 9 Sonde pour température et densité des électrons
- 10 Température et composition des ions positifs
- 11 Flux électronique et spectre 40-400 keV
- 12 Analyseur électrostatique.



Porteuse d'une balise et d'un répondeur, la capsule technologique A-1 fut le premier satellite français placé sur orbite en novembre 1965. Mis au

point par Matra, A-1 a permis d'étudier les possibilités de Diamant qui devait être utilisé à nouveau pour le lancement du satellite D-1A en 1966.

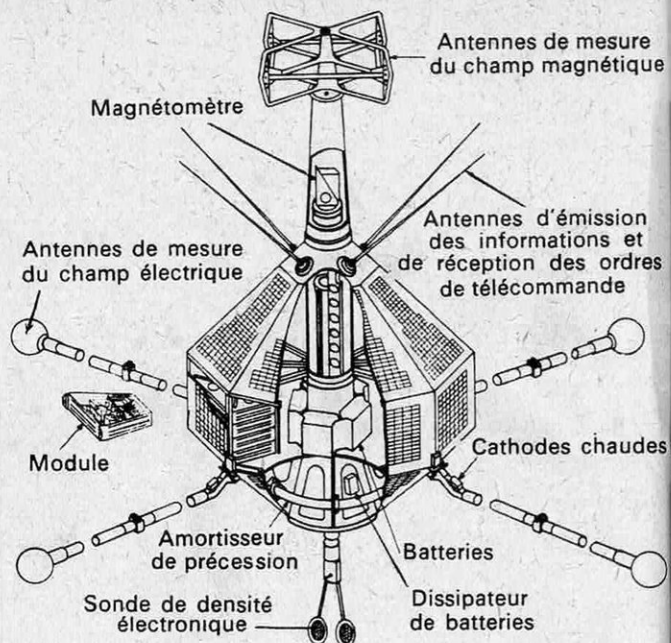
L'avenir de la recherche spatiale française dépend d'un plan dont la teneur devait être révélée avant la fin de 1966. Ce plan comportera certainement la construction d'un lanceur de grande puissance pour lequel plusieurs propositions ont été faites, tant par la S.E.R.E.B. (Société pour l'Etude et la Réalisation d'Engins Balistiques), qui a conçu Diamant, que par le Laboratoire de Recherches Balistiques et Aérodynamiques de Vernon, auteur du deuxième étage Coralie d'Europa I.

Les quatre principaux projets sont : Super-Diamant (22,5 tonnes de poids total), Hyper-Diamant (35 tonnes), Diogène II (60 tonnes) et Vulcain C (100 tonnes).

Les trois premiers sont entièrement à moteurs solides (trois étages), alors que, dans Vulcain C, à trois étages lui aussi, les deux premiers étages sont à liquides.

Ces lanceurs pourraient être expérimentés dès 1969 pour les deux premiers, vers 1970-1972 pour les deux derniers et pourraient placer : Super-Diamant, 250 kg sur orbite de 200 km ; Hyper-Diamant, 55 kg sur orbite géostationnaire (36 000 km) ; Diogène II, 800/1 000 kg sur orbite basse et 200 kg sur orbite géostationnaire ; Vulcain C, 1 050 kg sur orbite basse et 180 kg sur orbite géostationnaire.

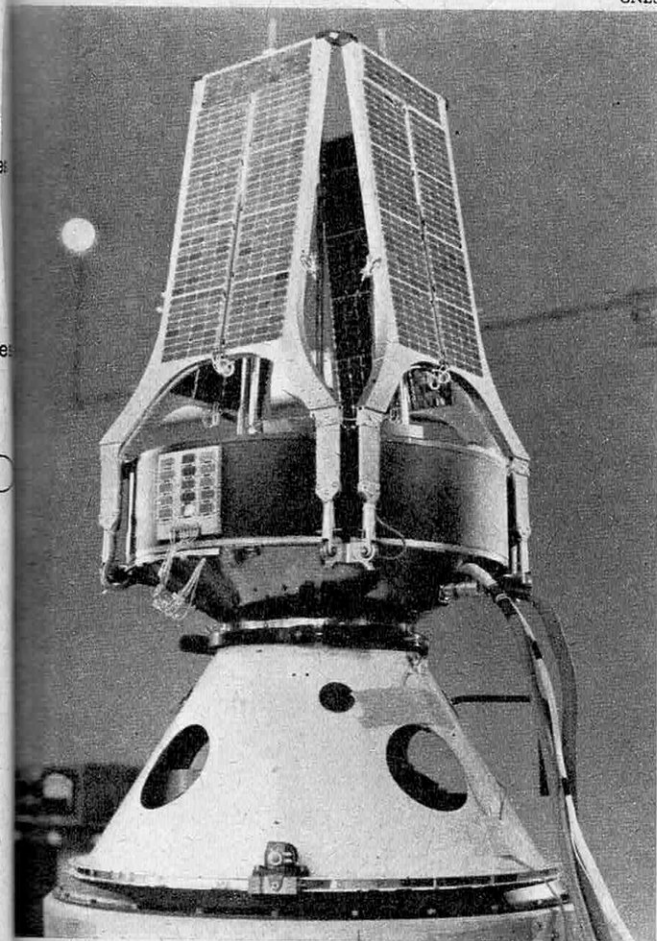
Il est aussi question d'un lanceur Améthyste, dérivé direct de Diamant mais avec un premier étage Émeraude allongé de 3 m ce qui accroîtrait de 45 % le volume des ré-



▲ Avec FR-1, premier satellite scientifique français, un nouveau pas était franchi. La mission principale de FR-1 était l'étude de la propagation des ondes de très basse fréquence dans les couches supérieures de l'atmosphère. Il fut placé sur orbite en décembre 1965 aux États-Unis par une fusée Scout.

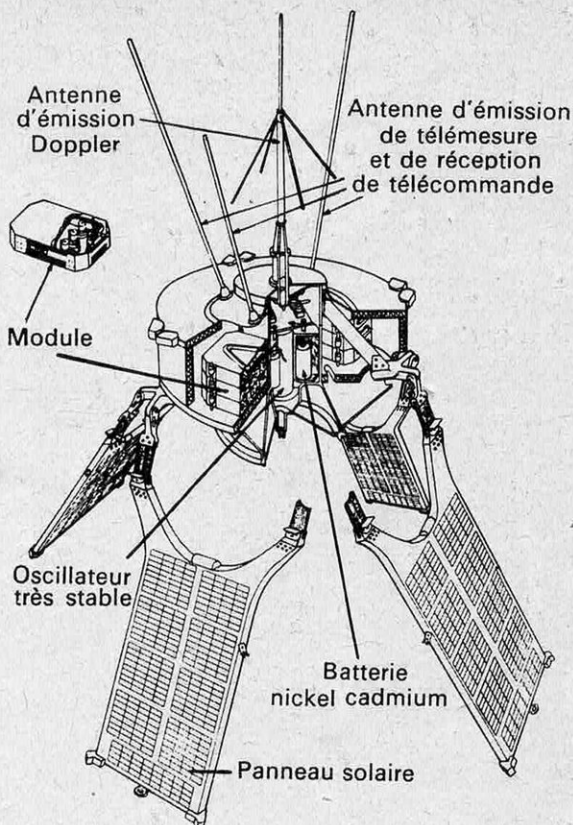
Fixation du satellite FR-1 au troisième étage de son lanceur, une fusée Scout de la N.A.S.A. On distingue à la partie supérieure le magnétomètre et les quatre antennes d'émission et de réception. Les antennes de mesure du champ électrique sont repliées sur le corps de la fusée, en position de tir.





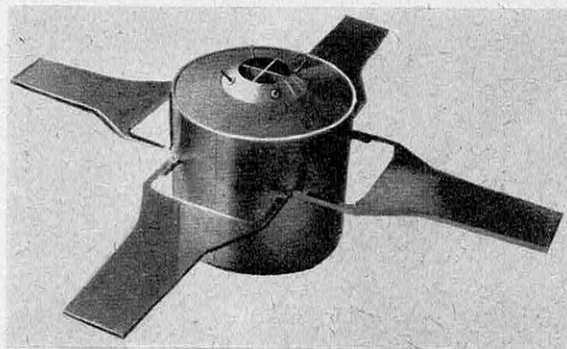
▲ **D1-A**, ici en position de tir, panneaux solaires et antennes repliés, a servi de banc d'essai pour de nombreux composants de conception française.

Sur ce gros plan de **D-1A** on apercevait les revêtements de feuilles d'or assurant une meilleure réflexion de la chaleur pour limiter l'échauffement.



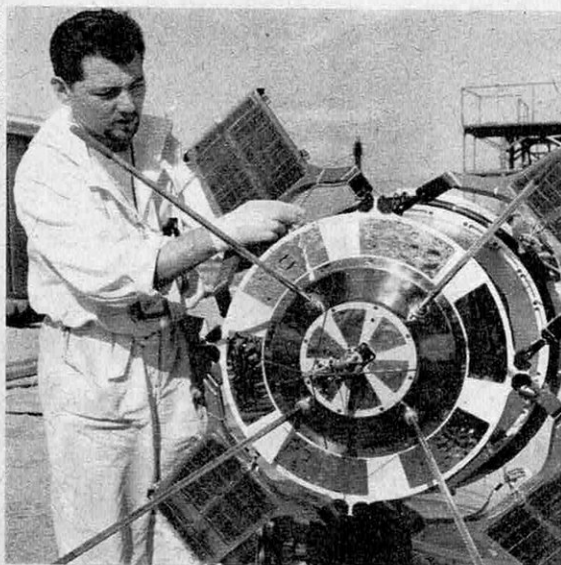
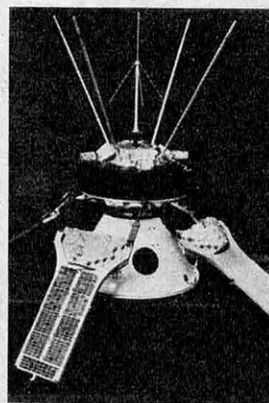
En raison de sa charge utile limitée, le satellite **D-1A** n'a qu'une valeur scientifique restreinte. Il a cependant permis des études géodésiques par mesure

de l'effet Doppler à l'aide de deux stations de réception. Ces stations au sol captaient les signaux de fréquence très stable émis par le satellite.



▲ Représenté ici sous forme de pré-maquette, le satellite **D-2** qui sera lancé du nouveau champ de tir de Guyane emportera cinq expériences scientifiques.

▶ Semblable à **D-1A**, **D-1C** sera tiré en 1967. On remarque sur la photographie du prototype les cubes de quartz qui serviront de réflecteurs laser.



3° ÉTAGE
LONGUEUR 2,06 m

ANTENNE RÉPONSEUR RADAR
CANNE D'ALLUMAGE
POUDRE (ISOLANE)
CADRE DE LIAISON PROPULSEUR - JUPE LARGABLE
PROTECTION THERMIQUE INTERNE
FOND ARRIÈRE
SUPPORT ÉQUIPEMENT MISE A FEU
TUYÈRE COQUETIER
COL DE TUYÈRE
JUPE ARRIÈRE
JUPE AVANT
ENVELOPPE FILS DE VERRE BOBINES
PROTECTION THERMIQUE EXTERNE
CADRE SUPPORT DE CHARGE UTILE
FOND AVANT
BOUCHON SUPPORT CAPTEUR DE PRESSION
CAPOTAGE

CASE A ÉQUIPEMENTS
CAVALIERS DE LIAISON

Diagram illustrating the components of the 2nd stage of a missile, showing the main body and detailed views of the nose and tail sections.

Labels for the main body:

- CASE À ÉQUIPEMENTS
- JUPE ARRIÈRE
- CAVALIERS DE LIAISON
- PROPULSEUR A POUVRE (ISOLANE)
- FOND ARRIÈRE
- CAVALIERS DE LIAISON
- JUPE ARRIÈRE
- TUYÈRE

Labels for the nose section (cutaway):

- JUPE INTERETAGE LARGABLE
- FUSÉE DE MISE EN ROTATION
- 2^e ÉTAGE**
- ÉCRAN THERMIQUE ENLEVÉ
- LONGUEUR 4,70 m
- JUPE AVANT
- GÉNÉRATEUR A POUVRE DE MISE SOUS PRESSION
- DISPOSITIF ANTIBALLOTEMENT
- RÉSÉROIR ACIDE NITRIQUE
- FOND INTERMÉDIAIRE

Labels for the tail section (cutaway):

- DISPOSITIF DE BASCULEMENT

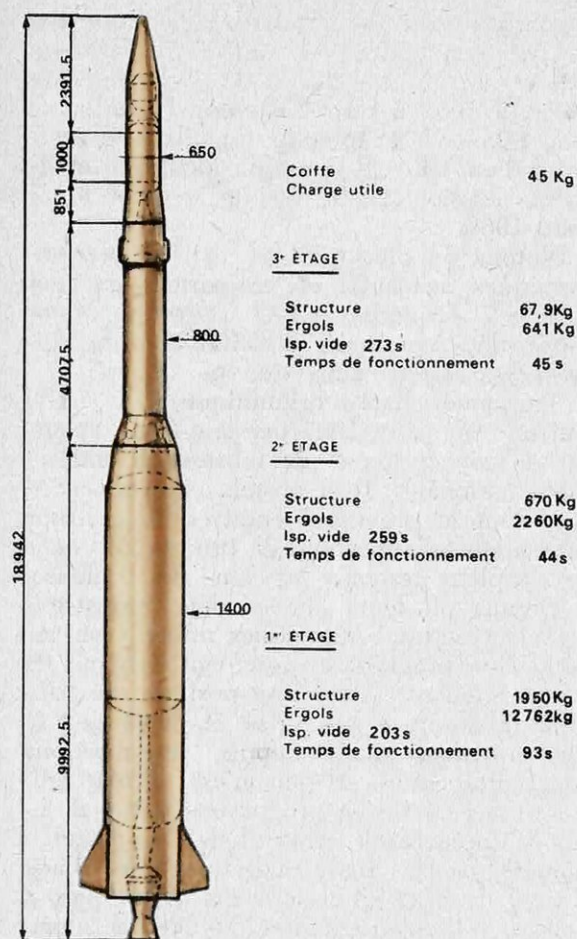
Diagram illustrating the internal components of the 1^{er} étage bi-liquide (Longueur 10 m).

Labels and components shown:

- JUPE AVANT
- VÉRIN DE SÉPARATION
- DISPOSITIF DE PRESSURISATION DES RÉSERVOIRS
- GÉNÉRATEUR A POUDRE DE MISE SOUS PRESSION
- DISPOSITIF ANTIBALLOTEMENT
- RÉSERVOIR ACIDE NITRIQUE
- FOND INTERMÉDIAIRE
- TUBE D'ALIMENTATION ACIDE NITRIQUE
- RÉSERVOIR TÉRÉBENTHINE
- VERINS DE BRAQUAGE TUYÈRE
- JUPE ARRIÈRE
- DISPOSITIF DE BASCULEMENT
- BATI SUPPORT DE TUYÈRE
- GROUPE AUXILIAIRE DE PUISSANCE
- EMPENNAGE
- TUYÈRE
- ÉCRAN THERMIQUE
- PROPULSEUR DE ROULIS

1^{er} ÉTAGE BI-LIQUIDE
LONGUEUR 10 m

LA FUSÉE DIAMANT



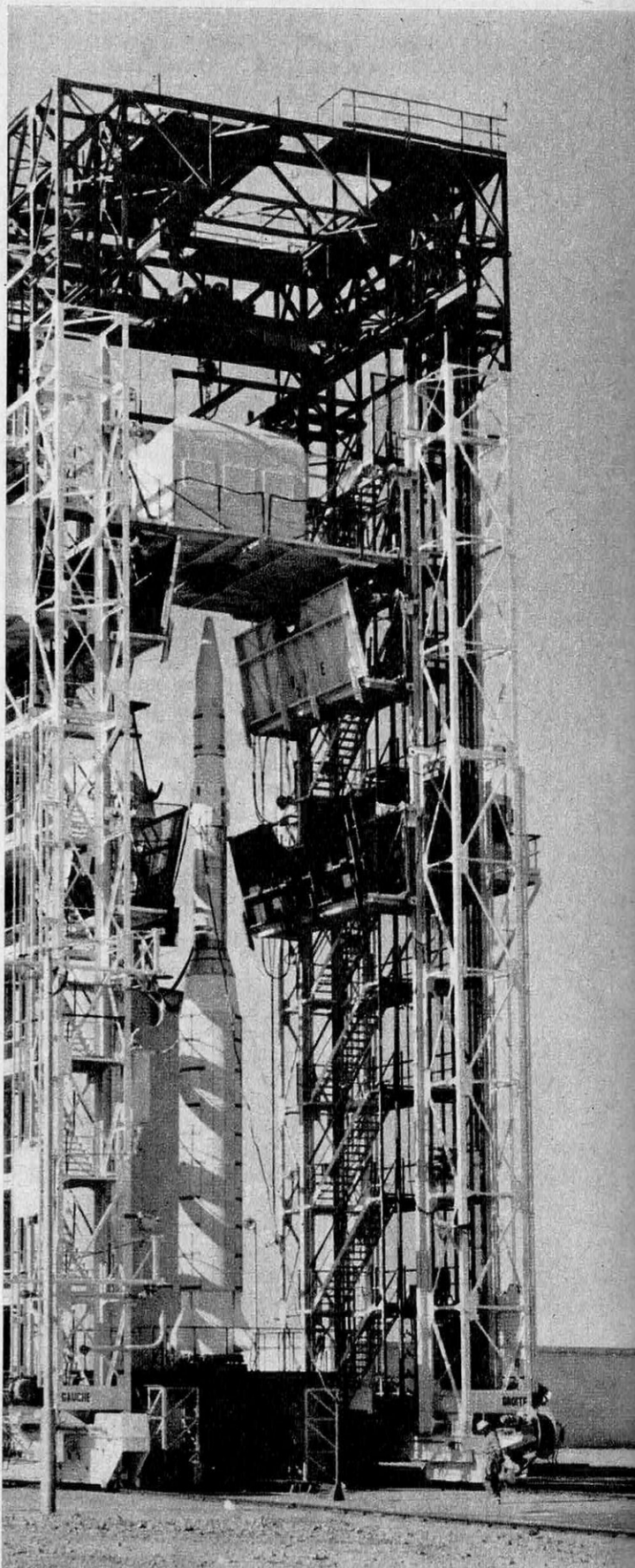
servoirs. De plus, l'acide nitrique et l'essence de térbenthine seraient remplacés par des ergols stockables (UDMH et peroxyde d'azote) d'un maniement plus facile et fournissant une impulsion spécifique plus élevée.

Le principal avantage de ces lanceurs réside dans le fait qu'ils sont constitués d'éléments connus, issus des programmes de lanceurs civils ou militaires, ce qui devrait réduire considérablement les frais et les aléas de mise au point.

Les programmes nationaux français seront de toute manière poursuivis à longue échéance. La meilleure preuve en est la mise en route accélérée du chantier du Centre Spatial Guyanais, qui doit prendre le relais des bases sahariennes.

Conçu en premier lieu pour satisfaire aux exigences des programmes français, le Centre Spatial Guyanais, exceptionnel par son implantation presque équatoriale, a déjà retenu l'attention de l'ELDO qui y tirera des Europa-APS porteurs de satellites de télécommunications géostationnaires. La NASA s'intéresse aussi vivement à ce centre.

Comprenant des zones de tir côtières, des installations de mesure situées pour la plupart dans des sites isolés, un ensemble technique et



administratif, le Centre est complété par une ville nouvelle, Kourou, créée de toutes pièces. Elle comptera jusqu'à 10 000 habitants.

Le Centre est situé à une cinquantaine de kilomètres au nord-ouest de Cayenne, à l'embouchure du fleuve Kourou sur lequel un port a été construit. Il devrait être terminé en 1970.

Autre programme spatial français intéressant, quoique d'ampleur limitée : le tir de décembre 1966 à février 1967, de quatre sondes Dragon depuis la base Dumont d'Urville, en Terre Adélie. Ce sera la première campagne de tir de fusées sur le continent antarctique. Les Expéditions Polaires Françaises assurent le soutien logistique de cette campagne placée sous la responsabilité du Groupe de Recherches Ionosphériques du C.N.E.S. L'embarquement du matériel a eu lieu à la mi-octobre.

La France a signé des accords de coopération spatiale plus ou moins larges avec de nombreux pays dont, notamment, les U.S.A. Pour beaucoup de petites nations, l'apport français est un élément essentiel pour s'assurer une présence dans l'Espace.

Cependant, l'accord le plus spectaculaire est celui signé en 1966 avec l'U.R.S.S. et qui comporte, en principe, le lancement d'un satellite français par une fusée russe.

Vers 1970, la France devrait avoir lancé de Guyane, à l'aide de fusées Europa, deux SAROS (Satellite de Radiodiffusion en Orbite Stationnaire) pour lesquels un budget de 150 millions est prévu : Ils permettraient d'améliorer les liaisons avec les départements français d'outre-Atlantique et les pays francophones d'Afrique.

Grande-Bretagne

Le programme spatial de la Grande-Bretagne a débuté en 1959 quand la Royal Aeronautical Society a décidé de créer un comité national pour la recherche spatiale. Actuellement, les travaux, en ce domaine, sont coordonnés par le Conseil pour la Recherche Scientifique du Département de l'Education et des Sciences. Le General Post Office s'occupe de tout ce qui est communications spatiales, les questions techniques des satellites et des lanceurs revenant au Ministère de la Technologie.

En réponse à une offre des Etats-Unis d'utiliser des fusées ou des satellites américains pour envoyer dans l'espace des satellites ou expériences étrangères, un accord fut signé entre la NASA et le British National Council on Space Research, prévoyant que les Américains construiraient et lanceraient un satellite chargé d'expériences bri-

tanniques dont les résultats seraient analysés et interprétés en Angleterre. Ce fut UK - 1 (Ariel 1), satellite de 60 kg lancé le 26 avril 1962 à Cap Canaveral (maintenant Cap Kennedy) et toujours sur orbite. Il a été suivi d'un UK - II, presque identique et de même mission, lancé de l'île Wallops le 27 mars 1964.

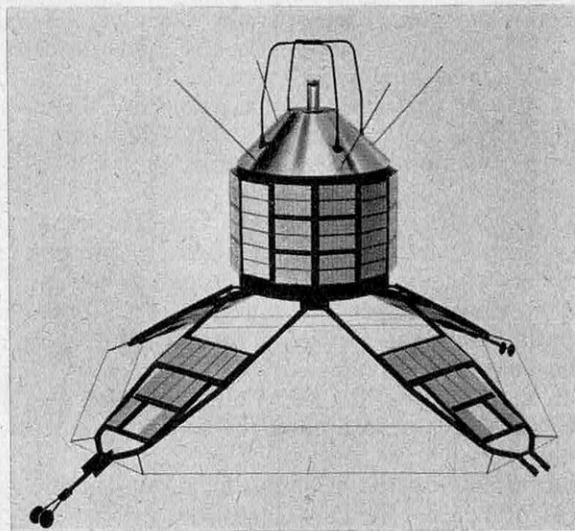
Notons de plus que des expériences britanniques ont aussi été emportées par des satellites Explorer, OGO (*Orbiting Geophysical Observatory*) et OSO (*Orbiting Solar Observatory*) ainsi que par FR - I.

Troisième charge britannique, UK - III, qui sera lancé en 1967 par une fusée Scout, est de conception et de fabrication entièrement nationales. Il emportera cinq expériences, dont la première tentative de mesurer par satellite l'apparition de bruits radio dans l'atmosphère terrestre au cours des cyclones.

Depuis plusieurs années déjà, industriels et scientifiques britanniques militent en faveur d'un programme purement national de lanceurs de satellites. Une position de principe favorable a été prise en 1964 par le gouvernement mais, depuis, les élections sont intervenues et rien n'est encore fait.

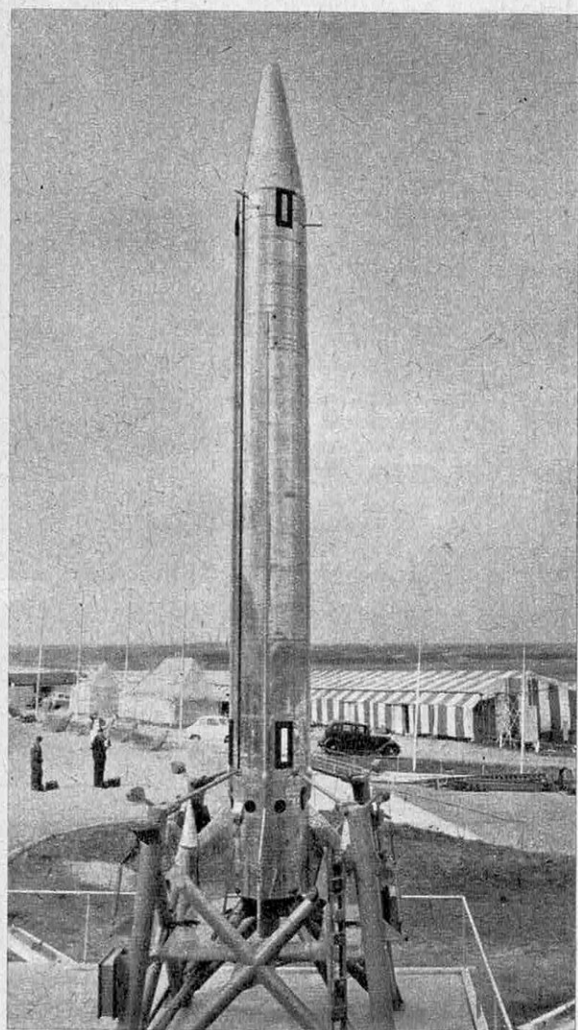
Le vecteur de ce programme national serait la fusée Black Arrow, basée sur la technologie de la fusée expérimentale Black Knight dont les vingt-deux tirs consécutifs, à l'occasion d'un programme d'étude de la rentrée dans l'atmosphère, ont été des succès.

Ce lanceur comprendrait trois étages (deux à liquides et un à poudre) et pourrait placer 100 kg sur orbite de 280 km.



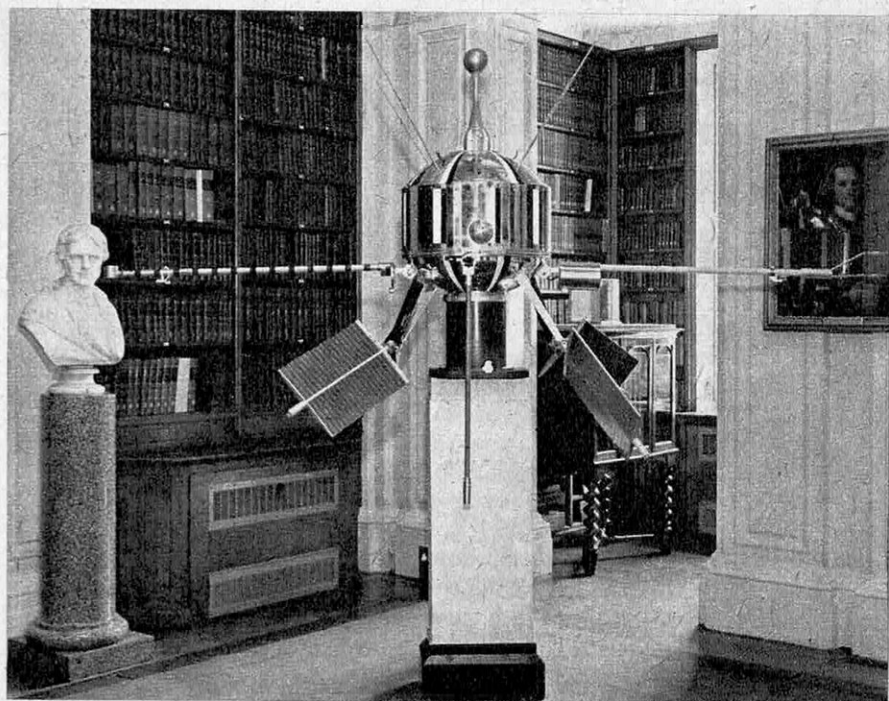
Au début de 1967, une fusée Scout tirée de Californie placera sur orbite UK-3, troisième satellite du programme anglo-améri-

cain. Pesant 74 kg, UK-3 emportera cinq expériences et doit en principe transmettre des renseignements pendant plus d'un an.



▲ **Fusée de recherches balistiques et d'étude de la rentrée dans l'atmosphère, Black Knight (ci-dessus) pourrait servir de base à la construction d'un lanceur à trois étages Black Arrow.**

► **Premier satellite issu d'une coopération U.S.A.-Grande-Bretagne, UK-1, construit par B.A.C. et baptisé officiellement Ariel 1, fut mis en orbite en avril 1962 par une fusée Thor-Delta. Il est toujours sur orbite, mais a cessé d'émettre. Le deuxième satellite britannique, UK-2, lancé le 27 mars 1964, est de conception voisine.**



L'industrie britannique est très active dans le domaine des fusées-sondes dont elle construit plusieurs modèles en série : Skylark (70 kg à 270 km d'altitude), Petrel (14 kg à 60 km), Skira (5 kg à 100 km). Ces sondes sont très largement exportées.

Rappelons enfin que la Grande-Bretagne joue un rôle prépondérant dans les organismes européens tant en ce qui concerne les lanceurs que les satellites. Il n'est pas impossible, de plus, qu'un programme purement national de satellites de télécommunications civils et militaires soit mis en route prochainement.

Différentes études ont été faites à titre privé par les bureaux d'études de certains constructeurs concernant des transporteurs aérospatiaux, mais il n'existe aucun programme national sérieux en ce domaine.

Rappelons, pour mémoire, le rôle important joué en Grande-Bretagne par l'infrastructure radioélectrique terrestre — dont le fleuron est le radiotélescope géant de Jodrell Bank — dans la poursuite des véhicules spatiaux et l'exploration de l'espace lointain.

Grèce

L'Institut Ionosphérique de l'Observatoire National d'Athènes est le principal organisme spatial en Grèce. Les seules activités sont la poursuite radio des satellites et, en coopération avec les U.S.A. et divers pays européens, l'étude de la couche E de l'ionosphère. Deux chambres à étincelles ont été

construites sur le mont Olympe et en Crète pour l'enregistrement des rayons cosmiques.

Un champ de tir de fusées-sondes a été implanté sur l'île de Korgstov et il a été utilisé notamment lors de l'éclipse de Soleil de mai 1966 (neuf tirs). D'autre part, une station de mesure française destinée à travailler avec D1-C et D1-D doit être installée sur le sol grec.

Hongrie

Une dizaine de centres scientifiques hongrois se consacrent partiellement à la recherche spatiale, mais toutes les observations ont été, jusqu'à présent, faites au sol. Le projet d'implantation de centres internationaux de lancement de véhicules spatiaux a été reporté de quelques années.

Inde

Décidée à jouer dans les découvertes spatiales un rôle à la mesure de ses moyens, l'Inde a été stimulée en cela par le fait que l'équateur géomagnétique traverse son territoire. Elle a donc créé, au lieu le plus favorable (Thumba), un champ de tir d'un intérêt scientifique évident, qui est entré en service en 1963.

En mai 1964, le C.N.E.S. français et le Conseil Indien pour la Recherche Spatiale (INCOSPAR) ont signé un accord de coopération qui porte sur des programmes de recherches communs, la cession de la licence de fabrication des sondes Centaure et Bélial, la livraison de matériels de champs de tir (électroniques notamment), et le perfectionnement d'ingénieurs.

Au nombre des expériences récentes, citons la campagne de tir de fusées-sondes de mars 1966 pour l'étude des vents entre 90 et 180 km au cours d'une même nuit et qui a donné lieu à la mise à feu de quatre sondes, deux Nike Apache et deux Centaure.

Indonésie

Au début du mois d'août 1964, une dépêche de l'agence Antara rapportait la nouvelle de tir « quelque part en Indonésie », d'une fusée de conception nationale, baptisée K - 81. Cette sonde aurait atteint 334 km et recueilli de nombreuses informations scientifiques dans la région équatoriale. C'est la seule confirmation — et encore combien sujette à caution — que l'on ait des activités indonésiennes en matière de fusées. Cependant, on s'accorde à mettre en doute la véracité de ces informations, car il paraît douteux que le niveau technologique indonésien permette actuellement de tels résultats.

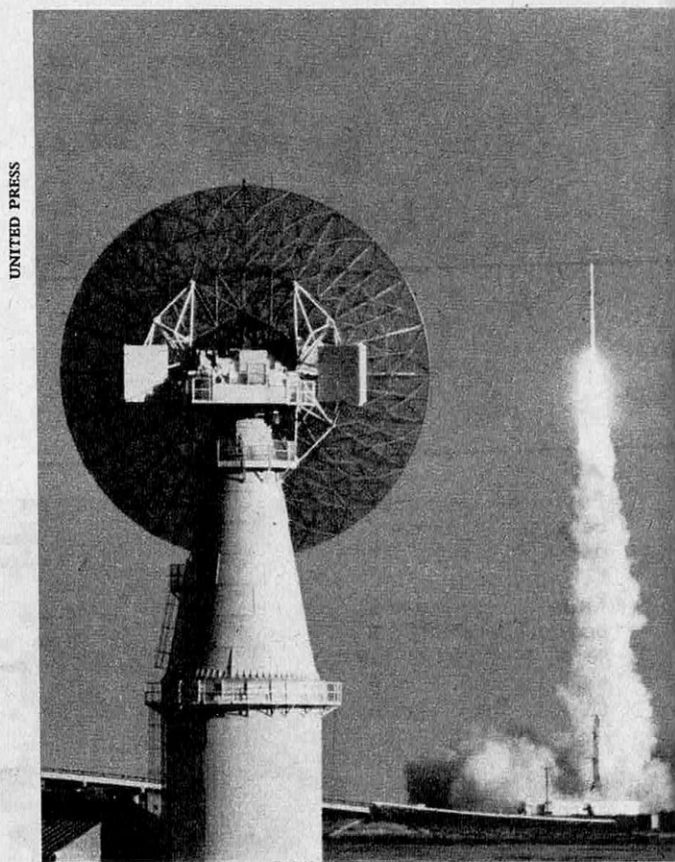
Iran

Les activités nationales iraniennes sont modestes, bien que la position géographique de ce pays, l'altitude de son plateau et les excellentes conditions de visibilité le prédisposent à être le cadre de tels travaux.

La poursuite de satellites située à Chiraz et créée au cours de l'Année Géophysique Internationale est toujours en activité. D'autre part, un laboratoire de détection des neutrons du rayonnement cosmique et un centre de physique solaire ont été construits.

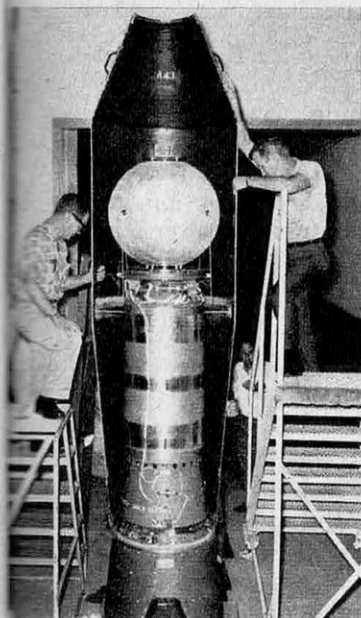
Italie

Le programme de recherches spatiales italien a été lancé en 1959 avec la création d'une Commission pour les Recherches Spatiales.



Le 15 décembre 1964, une fusée porteuse Scout préparée et mise à feu par une équipe de techniciens italiens était tirée à Wallops Island (ci-dessus). Elle plaçait sur orbite le satellite San Marco I mis au point au Cen-

tre de Recherches Aérospatiales de Rome, pour l'étude de la densité des couches atmosphériques. Un projet San Marco II de satellite qui sera placé sur orbite équatoriale est actuellement en préparation en Italie.



Le San Marco 1 que l'on voit ici au sommet du quatrième étage de la fusée Scout pendant un essai de compatibilité est une sphère de 115 kg et 66 cm de diamètre, constituée de deux parties concentriques. La sphère externe est légère et n'est reliée à la sphère interne que par des connexions élastiques. En fonction des variations de traînée dues à la résistance de l'air, cette sphère se déplace et les tensions mécaniques au niveau des liaisons élastiques sont transformées en variations électriques.

A côté d'un programme de tirs de sondes en coopération avec la NASA, de l'étude du vol des satellites américains et de recherches de base dans diverses universités, le projet San Marco marque le point culminant des travaux italiens.

Dans le cadre d'un accord avec la NASA, signé en 1962, le projet San Marco doit aboutir au tir du premier satellite lancé d'une base mobile flottante. Ancrée au large des côtes du Kenya, cette plate-forme permettra le premier lancement direct sur orbite équatoriale. Ainsi le satellite permettra les premières mesures à haute altitude des caractéristiques atmosphériques et ionosphériques dans la région équatoriale.

Le projet San Marco comprend trois phases :

- lancements sub-orbitaux au départ de l'île Wallops et de la plate-forme équatoriale ;
- lancement orbital d'un satellite d'essais à partir de l'île Wallops ;
- lancement orbital à partir de la plate-forme équatoriale.

La première phase a eu lieu en 1963. La seconde a abouti à la mise sur orbite du satellite San Marco - 1 en décembre 1964, la mise à feu étant assurée, pour la première fois dans l'histoire de la NASA, par une équipe non-américaine. Bien que le périégée ait été un peu inférieur à la valeur prévue, San Marco - 1 a transmis des données intéressantes durant deux mois. La troisième phase doit intervenir au début de 1967.

La clef de voûte du projet San Marco est, bien entendu, le complexe de tir. Il consiste en deux plates-formes, genre « Texas To-

wers » complétées par deux bateaux de soutien logistique. La plate-forme Santo Rita, de 1 500 tonnes, a été remorquée d'Italie au Kenya au cours de l'hiver 1963-1964, puis ancrée sur le plateau continental, à 25 km de la côte, ses trois pieds reposant à 21 m de fond. De forme triangulaire, elle comprend une salle d'assemblage à air conditionné et la tour de lancement standard de la fusée Scout. Elle fut mise à l'épreuve en mars et avril 1964 lors du tir de trois sondes Nike Apache.

La plate-forme San Marco, comportant les radars de poursuite, les centres de contrôle et de commande ainsi que les sources de puissance, vient d'être amenée d'Italie au Kenya. Tout est désormais prêt pour le lancement de San Marco - 2.

Outre ces programmes nationaux, l'Italie prend actuellement une part active aux programmes européens.

Japon

Le Japon a manqué, le 25 septembre dernier, sa grande entrée dans le club spatial, échouant dans sa tentative de placer un satellite sur orbite avec une fusée de conception nationale. Il s'agissait d'une charge de 26 kg qu'un lanceur Lambda - 45 devait placer sur une orbite de 400 km, au départ de la base de Kagoshima dans l'île Kiou-Siou. Une deuxième tentative récente a également échoué. Ce n'est que partie remise, car d'autres fusées sont prêtes.

La recherche spatiale japonaise est caractérisée par sa décentralisation, puisqu'il n'y a pas moins de cinq ministères à s'en occuper.

L'organisme le plus dynamique et bénéficiant des crédits les plus importants est, sans aucun doute, l'Institut des Sciences Industrielles de l'Université de Tokyo, qui a commencé ses travaux en ce domaine en 1954. Il s'agissait alors de concevoir les premières fusées-sondes nippones qui pourraient être utilisées dans le cadre de l'Année Géophysique Internationale 1957-58.

Après diverses étapes, un organisme spatial d'Etat fut créé en 1954 pour tenter de contrebalancer l'action de l'Université de Tokyo : c'est le Centre National de Développement Spatial de l'Agence des Sciences et Techniques.

Bien que le même savant ait été nommé à la tête de ces deux organismes afin de diminuer la concurrence stérile entre eux, il est bien évident que l'Université de Tokyo a une position en flèche due à l'antériorité de ses travaux.

Le Centre de Développement Spatial, de

son côté, n'en est encore qu'à tirer des petites sondes, mais il espère pouvoir lancer un satellite de 150 kg à 100 km en 1970, ainsi que des satellites météorologiques et de navigation, en utilisant sa nouvelle base équatoriale de l'île Tanegashima.

L'Université de Tokyo dispose de toute une gamme de sondes à propergols solides, dont les Kappa et Lambda sont les plus beaux fleurons. Des Lambda III ont dépassé l'altitude de 1 000 km en 1964 et 1965 et pris des observations dans le cadre de l'Année du Soleil Calme.

Avec Lambda-IV (quatre étages de 40 tonnes, 10 tonnes et 7 tonnes de poussée pour les trois premiers), l'Université de Tokyo dispose déjà d'un lanceur capable de satelliser des charges modestes. Le quatrième étage, en effet, est un moteur sphérique dont le poids, de 113 kg à la mise à feu, n'est plus que de 26 kg en fin de combustion. C'est cette enveloppe, surmontée d'un cône portant deux antennes-balises pour son repérage et une antenne de télémesure pouvant transmettre pendant 10 heures, qui constituera le premier satellite nippon.

Il s'agit là de charges technologiques d'un intérêt limité. Le premier satellite scientifique japonais doit être lancé en 1968 par une fusée MU - 1400. Recouvert de 5 000 cellules solaires et pesant 40 kg, ce satellite est destiné à l'étude de la température et de la densité électroniques, du plasma solaire, des radiations cosmiques et du bruit solaire radioélectrique au cours de la période d'activité solaire très forte de 1968. La fusée MU - 1400 à quatre étages pèsera 39 tonnes à la mise à feu, la poussée de son premier étage étant de 100 tonnes.

La poursuite du satellite sera assurée par des centres japonais en coordination avec des stations de la NASA.

Ce qu'il y a de plus remarquable dans l'effort japonais est certainement qu'il a été conduit sans aide étrangère, sans même avoir recours à une fusée américaine pour lancer un premier satellite national.

Norvège

Les activités spatiales norvégiennes sont dirigées par un Comité créé par le Conseil Royal norvégien pour la Recherche scientifique et technique et sont essentiellement centrées sur le polygone de tir d'Andøya, situé dans la zone où se produisent des aurores boréales. De nombreuses sondes y sont tirées en coopération avec la NASA et le C.N.E.S., mais la Norvège a aussi collaboré avec ces organismes à des tirs de recherches à Colomb-Béchar et à l'île Wallops.

Liban

La Société libanaise pour les fusées, dont les membres sont des étudiants spécialisés en diverses branches aidés d'experts militaires, a procédé, en novembre 1963, au premier lancement d'une fusée libanaise. La Cedre - IV à trois étages, de conception nationale, a atteint 200 km. Aucune précision n'a été donnée depuis sur l'activité de cette Société.

Rappelons que le Liban héberge l'une des stations de poursuite du C.N.E.S.

Pakistan

Depuis sa création, en 1961, le *Space and Upper Atmosphere Research Committee* (SUPARCO) a eu les activités suivantes : création d'un polygone de tir, poursuite de satellites, lancements de fusées-sondes, participation à des programmes internationaux.

Le champ de tir est implanté à Sonmiani, à 55 km au nord-ouest de Karachi, et il est ouvert à tous les pays désireux d'effectuer des lancements spatiaux scientifiques.

Avec l'aide du *Smithsonian Astrophysical Laboratory*, deux stations de poursuite des satellites ont été construites, qui « travaillent » principalement avec les satellites américains. Le Pakistan est particulièrement intéressé par les recherches météorologiques, surtout dans la mesure où elles pourraient permettre la détection des cyclones qui ravagent périodiquement l'est du pays.

Des tirs de sondes météorologiques ont eu lieu régulièrement depuis 1962 avec la coopération de la NASA et du C.N.E.S.

Pays-Bas

Quatre organismes, coordonnés par la *Commissie voor Geofysica en Ruimteonderzoek*, s'occupent de recherches spatiales aux Pays-Bas :

— l'Institut National de Recherches Aéronautiques et Astronautiques d'Amsterdam, intéressé par les questions technologiques ;

— l'Institut Géodésique de Delft, qui a entrepris des recherches dans le domaine de la poursuite des satellites ;

— le Laboratoire de Physique Technique de Delft, qui prépare notamment une expérience destinée à être embarquée sur un satellite afin de détecter les électrons rapides dans le rayonnement cosmique ;

— l'Observatoire d'Utrecht, qui coordonne les observations de satellites aux Pays-Bas. Il a mis au point diverses expériences pour la mesure des rayons X émis par le Soleil, et préparé des charges utiles pour la

détection des particules primaires du rayonnement cosmique en provenance du Soleil.

Coopérant particulièrement actif des programmes européens, les Pays-Bas sont le siège de plusieurs laboratoires de ces organisations.

Pologne

Les activités spatiales polonaises concernent surtout les recherches menées dans le cadre de l'observation optique des satellites.

Des éphémérides ont été préparées et sept stations d'observation maintenues en activité en 1965. Environ 7 000 observations ont été faites, portant sur une douzaine de satellites. L'une de ces stations a participé à un programme d'études géodésiques en liaison avec un réseau expérimental établi en Europe centrale et une station implantée au Mali.

Depuis le mois de juin 1965, divers tirs ont eu lieu avec des sondes de conception polonaise. Le premier modèle Météor I atteint 40 km d'altitude et une Météor II (60 km) est en cours d'études.

Signalons aussi, au sein de l'Académie des Sciences de Pologne, un Comité travaillant les problèmes de droit spatial.

Roumanie

Les responsables des recherches spatiales roumaines poursuivent leurs travaux sur le plan national et dans le cadre d'accords de coopération qui associent plusieurs pays de l'Est.

Au nombre de ces travaux, mentionnons :

— le repérage optique des satellites par les observatoires de Bucarest et Cluj ;

— la participation au programme Interobs pour la détermination des variations de la densité atmosphérique d'après les observations simultanées de l'orbite suivie par un satellite (stations de Cluj et Timisoara) ;

— des études de biologie spatiale ;

— l'observation photographique des satellites Echo I et II ;

— des études théoriques sur les trajectoires des véhicules spatiaux et les transferts orbitaux ;

— les études d'une méthode de triangulation spatiale de précision et des recherches géodésiques (observatoire de Bucarest).

Des projets beaucoup plus ambitieux ont été définis pour les prochaines années ;

— repérage des satellites par des moyens radioélectriques ;

— acquisition de données fournies par les véhicules spatiaux sur orbite (télémessures et clichés de satellites météorologiques).

Suède

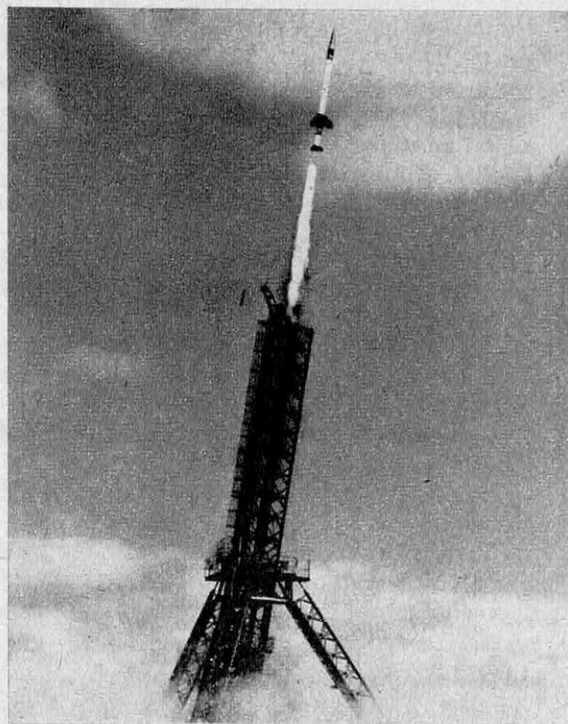
Depuis plusieurs années déjà la Suède développe une activité de recherches spatiales non négligeable, s'intéressant notamment aux nuages nocturnes luminescents dont l'étude est menée par diverses universités à l'aide de sondes équipées de grenades explosives.

L'activité spatiale suédoise a pris une certaine extension au cours des derniers mois grâce aux divers programmes de coopéra-

La base de Kiruna, en Suède septentrionale, a été inaugurée en septembre 1966. L'Organisation Euro-

péenne de Recherches Spatiales l'utilisera pour le lancement de fusées d'étude de l'environnement terrestre.





tion engagés entre le Comité suédois de recherches spatiales et l'ESRO/CERS, la NASA, les organismes spatiaux de Norvège et du Danemark, l'institut Max Planck en Allemagne. Ainsi, tout en poursuivant son programme d'étude de l'ionosphère, des rayonnements cosmiques et du champ géomagnétique, l'Observatoire géophysique de Kiruna prépare des expériences à monter sur ballons, fusées ou satellites en coopération avec l'un ou l'autre de ces organismes.

L'observatoire de Raö a lancé un nouveau programme d'expériences radio-astronomiques grâce à son nouveau télescope de 25 m de diamètre, tandis que l'Université d'Uppsala poursuit les enregistrements de rayons cosmiques entrepris voici 12 ans et observe les satellites. Signalons aussi les campagnes d'études géodésiques et de très remarquables clichés du Soleil pris en fusées.

La Suède fournira de plus quelques-uns des dispositifs expérimentaux emportés par le satellite ESRO I. Des plans d'expériences sont en cours d'étude pour le satellite TD - 2 qui doit être lancé en 1969 pour l'étude des relations Soleil-Terre à une époque d'activité solaire maximale. De nombreuses expériences en fusées-sondes sont également en préparation.

Suisse

Membre de l'ESRO, la Suisse n'a que des ambitions spatiales limitées et ne dépassant généralement pas le cadre des études au sol.

Construite en série par la British Aircraft Corporation, la Skylark est l'un des véhicules de recherche de l'E.S.R.O. Elle peut

être utilisée pour des mesures dans la haute atmosphère comme pour des études plus purement spatiales (rayons X solaires, etc.).

L'Institut de physique de Berne, en coopération avec la NASA, tente de déterminer l'âge des matériaux lunaires.

L'observatoire de Genève se consacre à la poursuite des satellites et à des recherches sur l'effet de la pression de radiation du Soleil sur leurs orbites. Un appareil de mesure de l'ultraviolet stellaire a été conçu pour être emporté par un ballon de 50 000 m³ du C.N.E.S. français. Enfin, mentionnons la méthode photométrique mise au point par l'Ecole Polytechnique de Zurich pour la détermination de l'altitude des montagnes lunaires.

Tchécoslovaquie

La modicité des budgets disponibles a considérablement restreint l'ampleur des recherches spatiales en Tchécoslovaquie. Cependant, de nombreuses études sont menées au sol ; observation des satellites, étude des rayons cosmiques émis lors des éruptions dans la chromosphère solaire, étude des conditions du mouvement des météorites dans l'atmosphère et des poussières météoritiques en confirmation des découvertes faites par les satellites.

Logiquement, ce tour du monde alphabétique devrait se clore sur un panorama des recherches spatiales en URSS et aux USA. Nous ne le dresserons pas ici parce que les activités spatiales des deux « grands » sont trop diversifiées pour pouvoir être exposées en quelques lignes et qu'il en sera d'ailleurs abondamment question ci-après.

L'intérêt de ce vaste survol aura été, pensons-nous, de démontrer que les grands pays ne sont pas les seuls à vouloir jouer un rôle dans l'exploration de l'Espace. Ce nouveau champ de découvertes présente tant d'inconnues que chacun peut prétendre y jouer un rôle efficace, même s'il est modeste.

L'avenir démontrera sans doute que le plus grand mérite de ces activités aura été de former des chercheurs et des techniciens ouverts aux questions spatiales. Cela se révélera très utile le jour où, pour entreprendre des explorations dépassant techniquement et financièrement le cadre devenu trop étroit des plus puissantes nations, un effort concerté à l'échelle mondiale sera indispensable.

R. de NARBONNE

USA contre URSS

Qui, le premier, mettra le pied sur la Lune ? Cette première empreinte, à elle seule, symbolisera des siècles de rêves, des années d'efforts. A elle seule, cette empreinte « vaudra » les quelque 150 milliards de francs nouveaux qu'aura coûté ce premier pas timide de l'homme sur un autre astre que le sien.

Historiquement, elle mériterait d'être ramenée sur notre bonne vieille Terre pour y être exposée, moulée, reproduite à des millions d'exemplaires pour tous ceux qui, ne serait-ce qu'un court instant de leur vie, ont rêvé de « décrocher la Lune ».

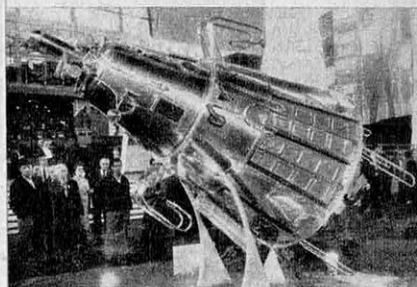
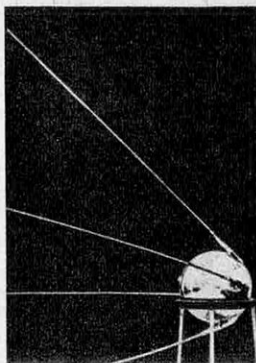
Mais les spécialistes du Cosmos ignorent la poésie. Pour eux, le premier pas sur la Lune ne sera que l'inévitable conséquence du jeu des gravités et des énergies qu'ils auront su asservir à leurs fins, l'issue logique d'une compétition que chacun des protagonistes, Russes et Américains, aborde avec une égale confiance.

« Je suis Russe, dira l'un. J'ai hérité des connaissances de Tsiolkovski. J'ai participé à la mise sur orbite du premier satellite artificiel de la Terre et à l'envoi du premier homme dans l'Espace. Les stations automatiques que j'ai mises au point ont été les premières à se poser en douceur sur la Lune et à se placer sur orbite autour d'elle. Je termine la mise au point d'une super-fusée qui permettra à l'un de nos camarades d'être le premier à fouler le sol de notre satellite naturel. »

« Je suis Américain, dira l'autre. J'ai profité des travaux de Goddard. Je suis parti avec un retard considérable dans la course à l'Espace mais je l'ai rattrapé en moins de huit ans. J'ai participé à la mise sur orbite des charges les plus lourdes. J'ai contribué au succès des premiers rendez-vous et arri-

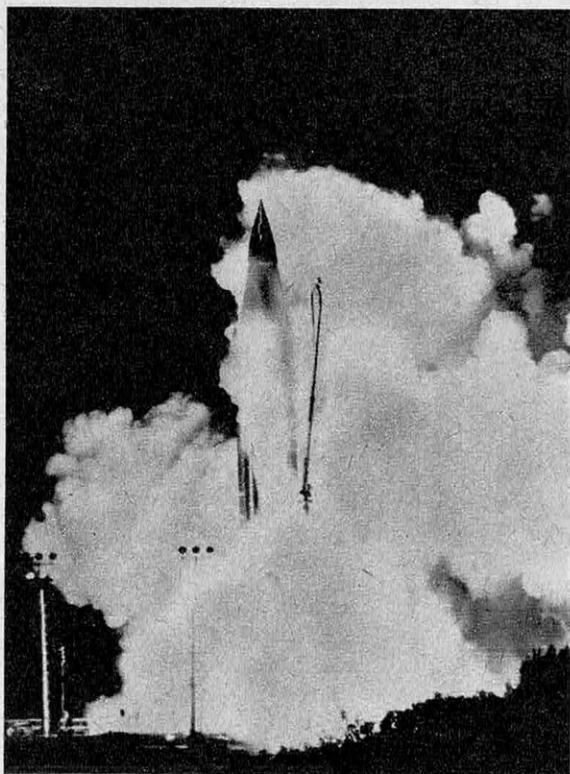
gages spatiaux. Je suis allé le plus loin, le plus haut, le plus longtemps. Je vais lancer incessamment la super-fusée lunaire qui permettra à un de nos astronautes d'être le premier homme sur la Lune. »

Peut-être la grande presse met-elle trop souvent l'accent sur cet aspect particulier de la rivalité soviéto-américaine en matière spatiale. La conquête du sol lunaire, qui polarise de ce fait l'attention du public, ne sera cependant qu'un épisode de l'immense tâche



Premier satellite artificiel de la Terre, Spoutnik I (ci-dessus) au poids de 83,6 kg fut lancé le 4 novembre 1957. Moins d'un mois après, Spoutnik II (ci-contre) était à son tour placé sur orbite avec un chien à bord. Spoutnik III (en haut, à droite), lancé en mai 1958, emmenait une lourde charge d'appareils scientifiques d'étude géophysique.





Le premier satellite de télécommunications (Score) fut placé sur orbite le 18 décembre 1958 : il s'a-

gissait de la structure complète d'un missile Atlas renfermant un équipement de transmission radio.

entreprise. Notre propos sera beaucoup plus d'essayer de faire un bilan général de l'effort spatial russe et américain, de dégager les grandes tendances, de souligner s'il se peut les points faibles et les points forts, que de formuler un pronostic à propos d'une compétition dont la valeur est surtout symbolique.

Pour certains, l'expérience acquise ces deux dernières années par les Américains grâce au programme Gemini — expérience essentielle pour ce qui est des premiers vols humains vers la Lune — devrait leur assurer assez facilement le succès dans un avenir très proche. Avant la fin de 1968, dit-on dans les milieux spécialisés, vers 1969 dit la NASA, toujours prudente, prudente au point que certains Américains traduisent NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) par « *Never A Straight Answer* » (jamais une réponse franche) !...

Pour d'autres, qui se souviennent des grands succès spatiaux soviétiques, qui n'oublent pas que l'URSS est partie dans la course à l'Espace avec une avance confortable qu'elle n'a peut-être pas perdue, qui savent qu'un travail gigantesque a été fait

ces derniers mois avec les satellites Cosmos et lors des tirs expérimentaux de fusées vers le Pacifique, pour ceux qui sont persuadés que la date souhaitée pour le premier pas soviétique sur la Lune a toujours été octobre 1967 — 50^e anniversaire de la Révolution de 1917 et 10^e anniversaire de la mise sur orbite du premier Spoutnik —, pour tous ceux-là aussi, le succès russe ne fait pas de doute.

Il est certain que les Soviétiques nous réservent encore de grandes surprises. Il est certain aussi que leur amour des anniversaires les incitera à choisir — dans la mesure où la complexité des opérations spatiales le permettra — un jour d'octobre 1967 plutôt que toute autre date. Il est certain encore que leurs savants ont accumulé une somme phénoménale de connaissances au cours d'essais discrets, qu'il s'agisse de vols suborbitaux ou de satellites Cosmos.

Il est certain, surtout, que les responsables des programmes spatiaux en Union Soviétique n'avaient pratiquement aucun besoin de mener à bien un programme du type Gemini, dans la mesure où la naïve Amérique leur fournissait tous les renseignements souhaités, qu'ils soient d'ordre scientifique, technologique, physiologique ou psychologique. Mais ceci est un autre problème et il nous apparaît intéressant, tout d'abord, de revenir quelque peu en arrière.

L'après-guerre : les dépouilles allemandes

A la fin de la Seconde guerre mondiale, après la course des Alliés aux armes secrètes allemandes, Wernher von Braun se trouve aux Etats-Unis, Helmut Gröttrup en URSS. Outre-Atlantique, dans ce pays où tout se sait, parce que tout se dit, il est impossible de confier à von Braun un programme important si l'on veut garder sa présence secrète, au moins pour un temps.

La présence de Gröttrup en URSS est également tue, parce que là on sait se taire. Mais on sait aussi le faire travailler, lui et quelques centaines d'ingénieurs et de techniciens allemands. Pendant que les Etats-Unis commencent à s'endormir sur leurs lauriers, l'Union Soviétique exploite à fond le matériel et les hommes... Les Russes ont compris l'avenir des fusées, en tant que missiles, en tant que vecteurs spatiaux et ils y consacrent les efforts nécessaires. Et, à partir de 1950, lorsque les Allemands eurent dit tout ce qu'ils pouvaient dire et fait tout ce qu'ils pouvaient faire, ils furent progressivement relégués à des tâches moins importantes, souvent dans des domaines fort lointains des

fusées, puis renvoyés en Allemagne. Les savants, ingénieurs et techniciens soviétiques avaient pris la relève.

Pendant qu'aux Etats-Unis on envisageait seulement de faire participer von Braun et son équipe au projet d'un petit missile de 300 km de portée, le Redstone, les Russes mettaient déjà au point les moteurs d'une fusée intercontinentale capable de franchir 8 000 km et plus.

Pas de propergols-miracles, pas d'hydrogène, pas de fluor, certainement de l'oxygène combiné à de l'alcool ou du kérosène, pour commencer, en attendant l'hydrazine et peut-être l'hydrogène pour les fusées lunaires, encore que rien ne puisse l'indiquer. Moins encore d'astuces et de superminiaturisation.

100 tonnes et plus sur orbite

Bien au contraire ! Du « bon gros matériel bien solide » comme on sait le faire en Russie, avec rivets apparents et raidisseurs « là où il faut ». Mais un matériel à la mesure des besoins. Et c'est là, là uniquement, qu'il faut rechercher les performances stupéfiantes des fusées russes : 80 kg sur orbite en octobre 1957, 500 en novembre, 1 300 en mai suivant, 4 500 en mai 1960, 12 200 en juillet 1965. Combien demain ? 50, 100, 250 tonnes ?

Si les USA, au moment où nous écrivons ces lignes sont encore en tête avec les 26 tonnes satellisées de Saturn IB, dont 16 de charge utile, et si Saturn V, cette année, pourra en satelliser 120 ou 130, il n'y aurait pourtant rien d'étonnant à ce que l'URSS reprenne la tête dans le domaine du « tonnage orbital ».

En effet, que se passa-t-il dans les années 1950 ? Isolée sur un territoire extrêmement vaste, encore incapable de donner à ses bombes une taille réduite, l'Union Soviétique ne pouvait faire autrement que de concevoir de très grosses fusées. Ne fallait-il pas pouvoir envoyer une très lourde charge à une très grande distance ? La charge utile, le rayon d'action, sont tous deux directement proportionnels à la masse des propergols, à leur volume et donc à la taille des fusées. Doter l'Union Soviétique d'une première « arme absolue » se traduisait par : réaliser une fusée capable d'envoyer plusieurs tonnes à plusieurs milliers de km, voire les satelliser, encore qu'à l'époque, et malgré les travaux des précurseurs, les applications spatiales de la fusée n'aient pas compté parmi les impératifs les plus pressants.

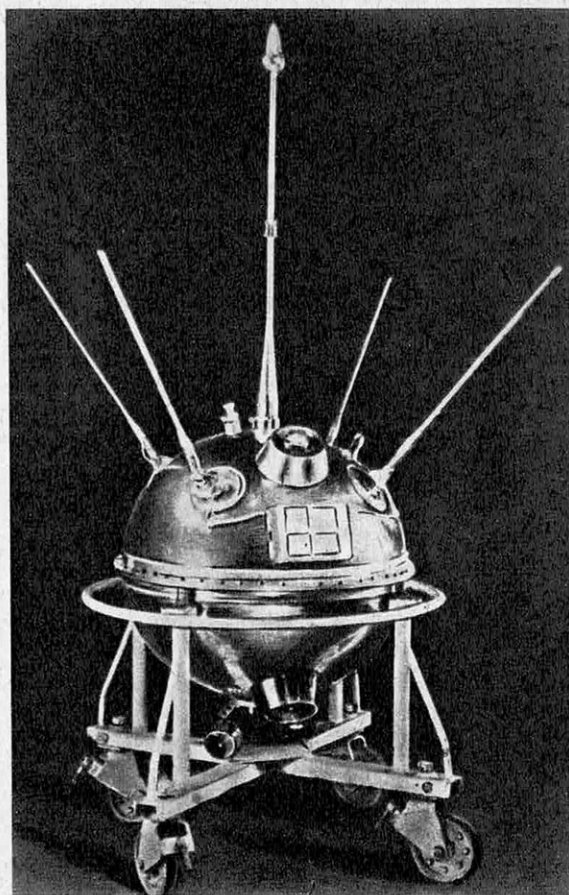
Certes, les choses allaient changer. L'Union Soviétique ne précisa son intention de lancer un satellite artificiel de la Terre

qu'après l'annonce américaine du démarrage du projet Vanguard dans le cadre des participations de l'Année Géophysique Internationale de 1957/1958, mais il est certain que les travaux étaient déjà fort avancés. Car l'URSS est une machine, très puissante certes, mais dont les rouages sont longs à entraîner.

En 1957, la machine était déjà rodée. C'est probablement avec beaucoup de méthode et déjà beaucoup d'assurance que les premiers satellites soviétiques ont été lancés alors que les techniciens américains s'escrimaient avec une Vanguard trop hâtivement conçue et trop peu essayée, avant de confier à Wernher von Braun le véritable « bricolage », voire « rafistolage », que fut l'addition d'un étage supplémentaire à la Jupiter C qui plaça le premier Explorer sur orbite.

Le goût du sophistiqué

Les débuts difficiles des Américains, que chacun garde en mémoire, ont en fait beaucoup contribué à leurs récents succès. Des premiers échecs sont nés non seulement de



La sonde soviétique Lunik I passa en janvier 1959 à moins de

8 000 km de la Lune avant de devenir une planète artificielle.

nouvelles méthodes, de nouvelles formules, mais aussi de nouvelles notions telles que celle de fiabilité (*reliability*).

Une étude approfondie des différents composants des circuits électroniques, le passage progressif des circuits imprimés aux circuits intégrés, l'obtention d'une supra-miniaturisation, le goût et l'adresse du complexe, du « sophistiqué », la volonté d'obtenir du matériel son maximum, de pousser les propergols, les moteurs et les structures à leurs extrêmes possibilités, bien d'autres facteurs encore, entraînent des échecs d'autant plus retentissants que ces travaux étaient réalisés au grand jour.

Mais l'échec, surtout dans l'espace, est source d'enseignement. Les problèmes se posaient à nouveau, deux fois, trois fois, mais pas quatre. Or les solutions de ces problèmes n'étaient pas des solutions d'hier ou d'aujourd'hui. C'étaient déjà, dans la plupart des cas, les solutions de demain.

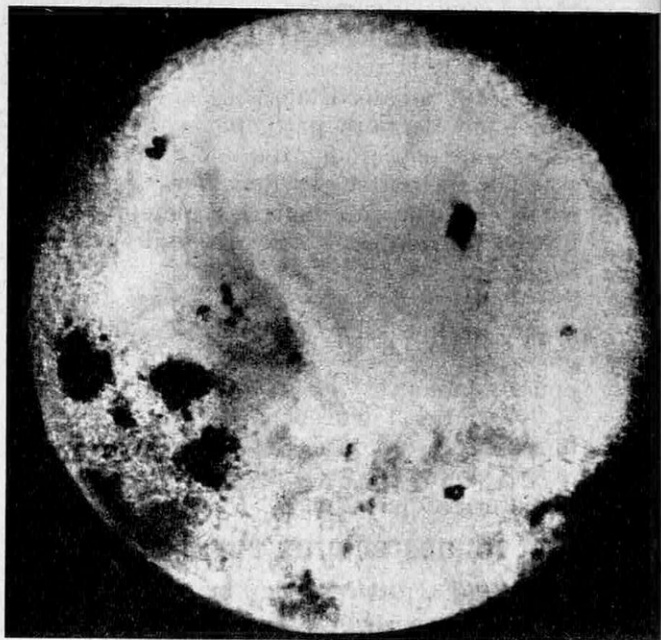
De 40 % en 1958, le pourcentage de succès stagna au-dessous de 60 % en 1959 et 1960 mais dépassa les 80 % en 1962. Au cours des deux dernières années, il s'est stabilisé au-dessus de 90 %. Ce résultat est d'autant plus remarquable qu'il a été obtenu dans des délais extrêmement courts et, surtout, que si les calculs de pourcentage n'intéressaient en 1958 que 17 tentatives, ils portèrent en 1965 sur quelque 110 tirs !

L'expérience considérable si rapidement acquise par la NASA et le Département américain de la Défense (DOD) devait se révéler précieuse. La liste des « grandes premières » attribuables aux Américains approche la trentaine contre une vingtaine pour les Soviétiques. Mais ces derniers n'ont pas les moindres à leur actif : après le premier satellite, le premier homme dans l'Espace, le premier vaisseau multiplace, les Soviétiques ont enregistré en 1966 trois « premières » d'importance avec l'impact de Vénus III sur l'Etoile du Berger, l'alunissage en douceur de Luna IX et la mise sur orbite sélénocentrique de Luna X.

Le maximum pour le minimum

Et l'on peut se poser la question de savoir comment les Soviétiques parviennent à un pourcentage de succès aussi fort, comment ils ont réussi encore en 1966 à battre les Américains d'une longueur dans plusieurs cas, alors que ces derniers enregistraient, dans le domaine du vol spatial piloté, une avance confortable.

Les raisons sont nombreuses et notre propos n'est pas de les détailler. Toutefois, il apparaît intéressant d'insister à nouveau sur le facteur « masse » qui, le plus souvent,



Placé sur une orbite très elliptique dont l'apogée était situé en arrière de la Lune, Lunik III prit en octobre 1959 les premiers

clichés de la face cachée de notre satellite (ci-dessus). Développés à bord, ils furent par la suite transmis par télévision.

dicte les choix et des Russes et des Américains. Outre-Atlantique, la faible masse satellisable par les premières fusées s'est traduite par le besoin d'obtenir le maximum de renseignements par des équipements les moins volumineux et les plus légers possible.

Et cela dès l'origine ! C'est ainsi que l'on a pu constater cette différence stupéfiante : Vanguard I, ne pesant pas plus d'un kilogramme et demi, fonctionna plus de six ans et permit l'acquisition d'une somme fantastique de renseignements, bien supérieure à ce que les 83 kg de Spoutnik I purent fournir pendant les 21 jours de « vie utile ».

Mais alors que les Américains, étroitement limités par le facteur masse, avaient dû développer des cellules photoélectriques afin de profiter de l'énergie solaire pour l'alimentation de leur satellite, les Russes, quant à eux, avaient toute latitude pour se contenter de « bonnes vieilles batteries » bien connues et bien solides. Ce qui est vrai pour les systèmes d'alimentation énergétique l'est également pour les autres équipements.

C'est également vrai pour les structures : l'examen des satellites que les Soviétiques ont exposés à ce jour montre des conceptions et réalisations saines, simples, solides et lourdes, à l'image même de leurs avions. Ce caractère est particulièrement frappant pour

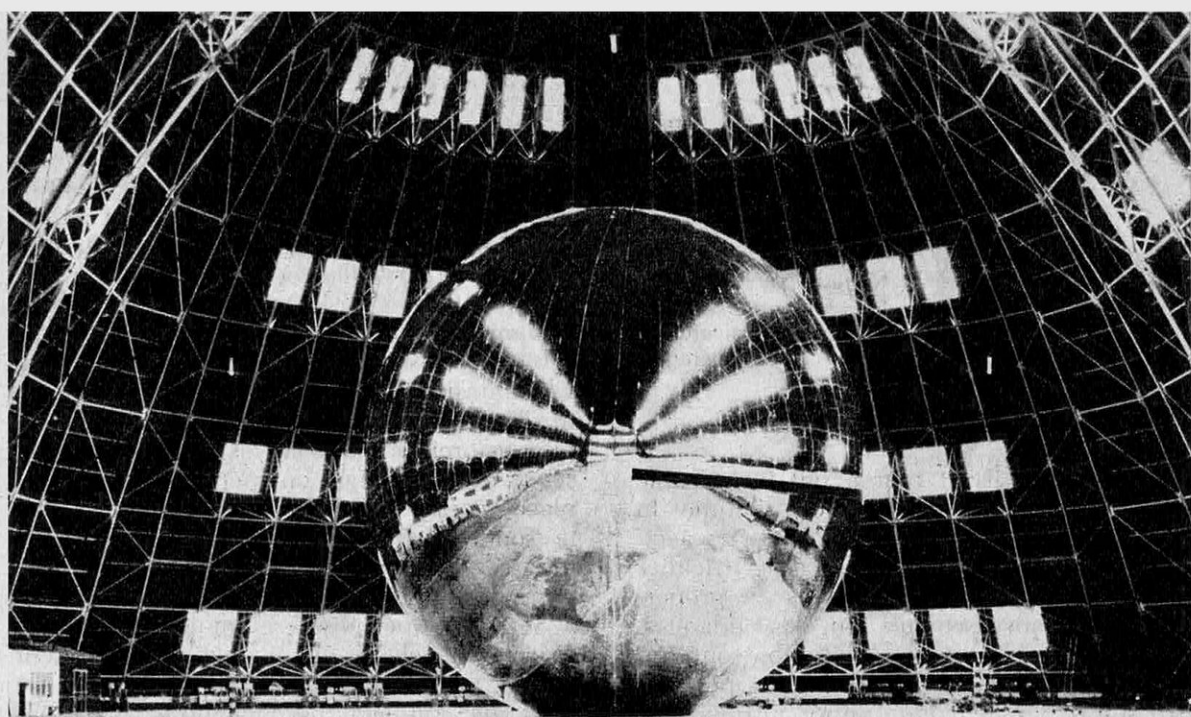


PHOTO NASA

Des liaisons expérimentales entre l'Amérique et l'Europe furent réalisées en 1960 par le satellite passif Echo I. Constitué d'une

sphère de plastique aluminisée de 30 m de diamètre, Echo I fut suivi en 1964 d'Echo II, diamètre 41 m, de structure plus rigide.

qui a vu le vaisseau Vostok des premiers cosmonautes exposé au dernier Salon de l'Aéronautique et de l'Espace, au Bourget, et les vaisseaux américains Mercury, Gemini ou Apollo.

Le lièvre et la tortue

Si le satellite américain est une voiture de course, le satellite russe est un tracteur. La comparaison est osée, mais illustre assez bien la réalité. Or, quand la voiture de course, comme chacun sait, exige tout au long de sa fabrication des essais et précautions sans pareils, quand sa délicatesse fait craindre, à tout instant de la course, qu'elle casse soudain, le tracteur suit son chemin sans que l'on ait trop à s'inquiéter de son fonctionnement. Telle la tortue de la fable, il parvient au but avant le lièvre.

La simplicité des engins soviétiques se retrouve partout et les récentes sondes lunaires en sont un bon exemple. Peu importe aux savants russes, semble-t-il, si leur vie est limitée dans le temps, puisqu'une bonne batterie classique n'est pas source d'ennuis, comparée aux cellules et circuits délicats d'un générateur solaire. Et, de plus, pourquoi se priver de cette simplicité puisque la masse des fusées est telle qu'elle permet une charge supérieure aux besoins !

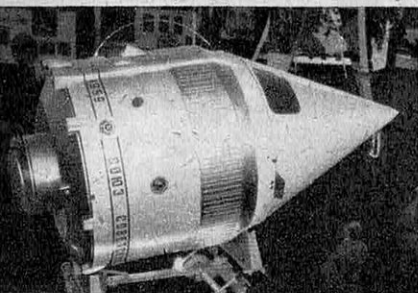
Certes, cette simplicité n'est pas sans avoir joué de tours aux Soviétiques. De son fait même, très certainement, un effort trop limité avait été réalisé dans les domaines de l'électronique spatiale. Et là, en particulier lors des délicates missions planétaires évoquées par ailleurs dans ce numéro, les Américains ont pu prouver sans peine la supériorité de leur matériel quant aux difficiles liaisons à très grandes distances.

Certes, des progrès immenses ont été faits ces dernières années en Union Soviétique, et les sondes martiennes que les techniciens de l'Est n'auront pas manqué de lancer en janvier ou février nous diront cette année si le but a été atteint. On sait seulement, grâce aux « Rapports sur la situation orbitale » que les Etats-Unis publient régulièrement et compilent avec d'autant plus d'objectivité qu'il s'agit pour leurs techniciens d'un précieux outil de travail, que la vie des satellites terrestres russes est généralement très courte. L'étude des signaux montre des pertes de puissance assez rapides.

Sous ce chapitre des succès et échecs, où les Etats-Unis ont fait la preuve du danger et des bienfaits du travail « au grand jour », il apparaît intéressant d'évoquer certains problèmes qui sont souvent soulevés lorsqu'est mise en question la compétition spatiale USA - URSS.

Pas de cadavres dans le cosmos

L'Union Soviétique a-t-elle eu des échecs inavoués ? Comment le sait-on ? Y a-t-il eu, ainsi que la presse l'a parfois suggéré, des « cercueils sur orbite » ?



Maquette de l'étage terminal de Lunik 1, surmonté de la coiffe conique renfermant la sonde spatiale proprement dite, (voir photographie en page 31). Le lanceur complet comportait vraisemblablement trois étages.

A dire vrai, il est tout à fait improbable qu'il y ait jamais eu la moindre victime du Cosmos, du moins dans l'espace car les accidents au sol sont inévitables, en particulier lors des remplissages des fusées en propergols, des transvasements ou des vidanges. Mais les vols humains soviétiques sont annoncés dès la mise sur orbite et peuvent être suivis par le monde entier jusqu'à leur conclusion.

Il faut remonter, en fait, aux premières années de la conquête spatiale. A l'époque, il n'y avait pratiquement sur Terre aucune station de poursuite capable de détecter les tirs de fusées ou de localiser les satellites. Ainsi les listes de lancements ne comportent-elles d'autres échecs que ceux des Etats-Unis. Il serait pourtant étonnant que les Soviétiques aient réussi du premier coup et qu'ils n'aient pas eu le moindre échec alors qu'ils en eurent par la suite !

Rapidement, les Américains mirent en place d'importants réseaux dont le but premier était de suivre et commander leurs propres satellites. Accessoirement, ils étaient déjà capables de détecter tout nouvel « intrus ». C'est ainsi qu'à partir de 1960, un bon nombre de lancements soviétiques furent détectés et identifiés. Les listes officielles et les rapports cités plus haut révèlent ainsi un certain nombre d'échecs que les Soviétiques n'avaient jamais annoncés et n'ont jamais reconnus. Ces échecs seraient intervenus essentiellement lors de tentatives lunaires et planétaires. Les deux premiers, deux échecs de lancement vers Mars le 10 et le 14 octobre 1960, furent annoncés officiellement par les Etats-Unis en 1962. La guerre froide gagnait le Cosmos !

A partir de 1961, c'est-à-dire lorsque commencèrent les premiers vols humains, les réseaux étaient bien rodés et puissants. Tout échec de mission pilotée aurait été sans aucun doute détecté.

Les échecs camouflés en succès

En 1962 démarra en Union Soviétique le programme Cosmos, un programme gigantesque qui allait justement permettre de

cacher d'éventuels échecs. Cosmos, en effet, est une désignation passe-partout, qui couvre tout aussi bien les satellites scientifiques, les satellites technologiques et prototypes de vaisseaux spatiaux que les satellites secrets de surveillance.

Suivant la date à laquelle ils ont été lancés, suivant, surtout, les caractéristiques de leurs orbites, on sait parfaitement les identifier. C'est ainsi que Cosmos CXI aurait dû devenir Luna X. Les gigantesques yeux, les immenses oreilles que sont les antennes des réseaux de localisation ont permis de dire que, placée correctement sur son orbite d'attente, la sonde avait explosé lors de la mise à feu du moteur destiné à l'accélérer vers notre satellite naturel...

Seuls les spécialistes étant au courant de cet état de choses, les Soviétiques profitent quand même largement de l'échec par le biais de l'impact psychologique créé par chaque nouveau lancement, et ce d'autant plus que le numéro de série est plus important. Cette méthode a pour autre avantage de donner au programme une excellente impression d'ensemble alors qu'en fait les satellites lancés sous ce nom sont tout aussi disparates que leurs équivalents américains répartis en de nombreuses familles.

La documentation, forme gratuite de l'espionnage

Il est bien connu que les Soviétiques ont non seulement le goût du secret, mais encore celui de l'espionnage qui, il faut le dire, leur est largement facilité par l'Occident. Si les Américains doivent dépenser des fortunes pour mettre au point des super-satellites capables de photographier les bases secrètes soviétiques, pour entretenir une gigantesque armada d'équipages spécialisés dans la récupération atmosphérique des précieuses capsules larguées par ces espions du cosmos — ce qui est bien connu —, les Soviétiques, quant à eux, n'ont guère qu'à s'abonner aux revues spécialisées, « Aviation Week », « Space Business Daily », etc. pour avoir « au jour le jour » des détails complets sur les programmes de la NASA et du DOD (*Department of Defense*) et, surtout, sur les résultats des expériences effectuées depuis Cap Kennedy, Vandenberg, Wallops Island, ou dans tout laboratoire...

Mais encore, alors que la conquête du cosmos semble d'une trop grande importance, scientifiquement, économiquement, politiquement, pour que les deux concurrents se fassent des cadeaux, la NASA fournit gracieusement les rapports les plus précis et les plus détaillés à quiconque les

demande, la seule condition à leur cession étant, en règle générale, que le destinataire soit membre de la communauté scientifique.

Les observateurs impartiaux s'accordent toujours pour reconnaître que si les Etats-Unis ne peuvent guère profiter des travaux russes dans le domaine spatial, la réciproque n'est pas vraie. Le problème est de savoir si la « coopération à sens unique » se traduit finalement par « simple comparaison », « exploitation partielle » ou « pure copie ». Il est loin d'être simple à résoudre dans bien des cas.

On peut, par exemple, faire observer que le premier satellite artificiel de la Terre et le premier homme dans le cosmos étaient soviétiques et qu'il eût été difficile de copier un Vanguard, un Explorer ou une Mercury qui n'avaient pas encore été lancés. D'ailleurs, le vaisseau soviétique Vostok, sphérique, n'est absolument pas comparable à la capsule américaine Mercury dont la forme est grossièrement tronconique.

A cela le fanatique de l'Occident, s'il est quelque peu spécialisé, saura répondre que les premiers projets de vaisseaux américains dont la configuration avait été détaillée à une époque bien antérieure aux Vostok étaient, eux aussi, parfaitement sphériques, et que les Soviétiques avaient eu tout loisir d'adopter la formule et de figer leurs études avant le revirement américain tardif en faveur de la formule tronconique préconisée par Maxime A. Faget et son équipe. Il ajoutera aussi que les rares dessins publiés par les Soviétiques de leurs soi-disant projets de véhicules d'alunissage ne sont en général que de pâles copies des premiers projets américains de « LEM » ou « LM », le « module lunaire » biplace qui, dans le cadre du programme Apollo, permettra à deux Américains de se poser sur la Lune.

C'est vrai, mais ce ne sont là qu'enfantillages ! Quel que soit le domaine où s'exerce l'imagination de l'homme, les lois qui régissent l'univers étant les mêmes pour chacun, il est normal que des spécialistes travaillant isolément aboutissent à des résultats comparables.

De surcroît, il ne faut pas oublier que la complexité sans pareille des programmes spatiaux — 2 020 528 personnes ont participé au programme Mercury, chiffre donné par la NASA dans son bilan officiel du programme — se traduit par un étalement dans le temps des études, essais et missions, bien incompatible avec la « copie ». L'Espace, pour l'instant, n'est pas un examen. C'est un concours. Le mauvais élève qui copierait ne serait assuré que d'une chose : ne pas être le premier.

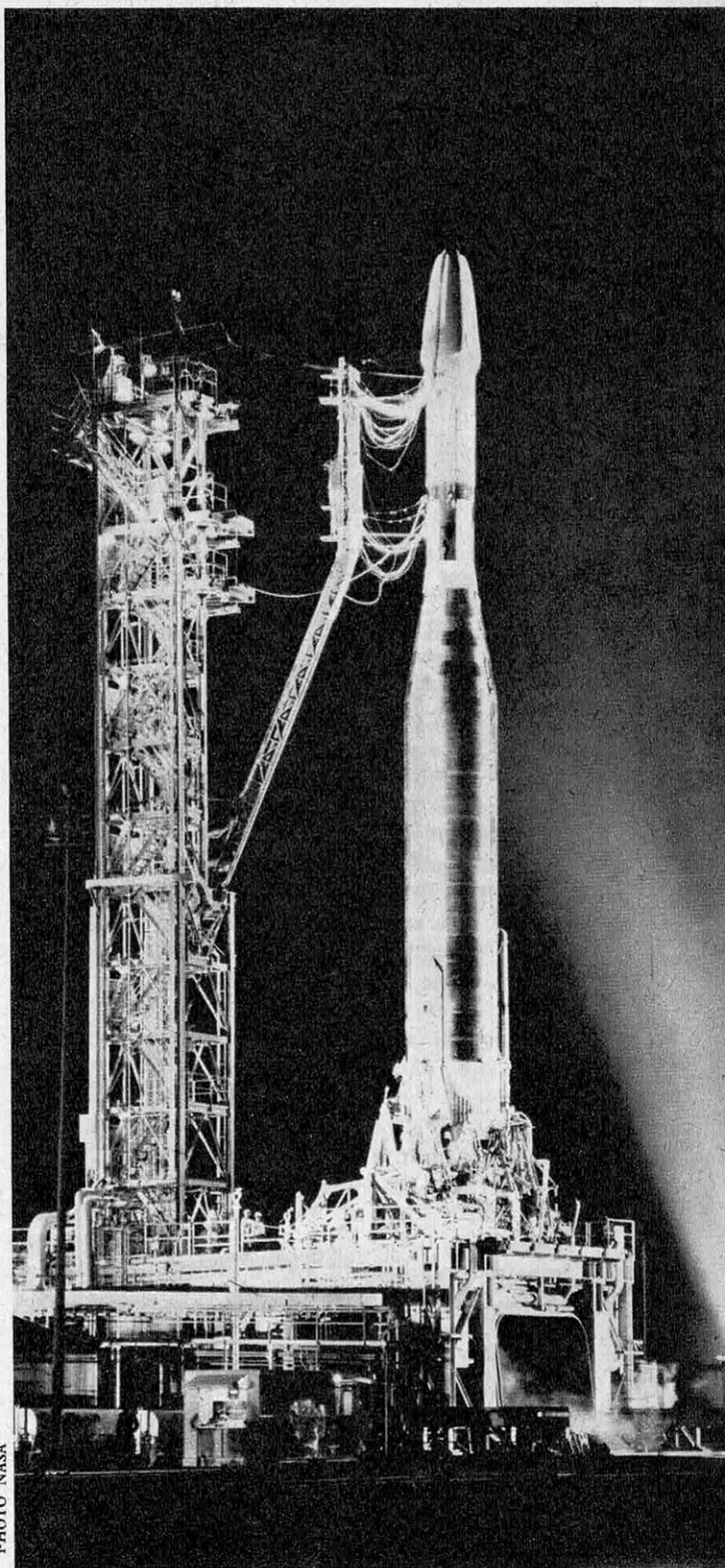
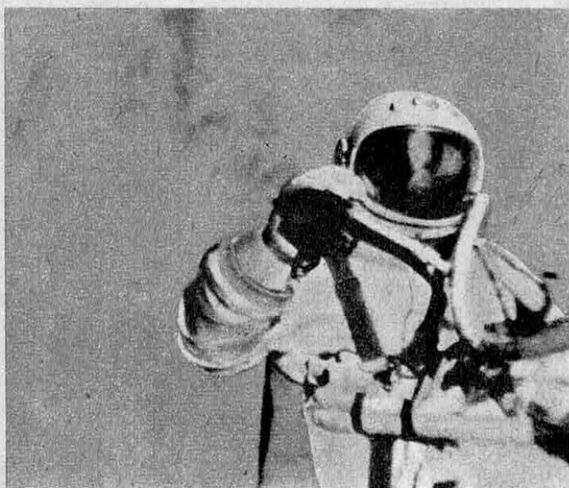


PHOTO NASA

Août 1962 : le lanceur Atlas-Agena B portant à son extrémité supérieure la sonde Mariner II peu de temps avant le tir.

Passant le 14 décembre à proximité de Vénus, Mariner II allait fournir de nombreux renseignements sur cet astre si mal connu.



Une des images enregistrées par la caméra automatique fixée sur la capsule Voskhod II pendant la sortie dans l'espace d'Alexis Leo-

nov, le 18 mars 1965. La surface terrestre apparaît en toile de fond, en grande partie dissimulée par une couverture nuageuse.

Mais, évidemment, on peut brûler les étapes — en se contentant d'un minimum de missions spatiales, par exemple — si l'on peut être assuré par l'expérience d'un autre que ces étapes sont sans embûche ou si l'on connaît les moyens de pallier les difficultés.

C'est pourquoi il y a une grande part de vérité dans les propos récents de l'astronaute Collins (mission Gemini X en juillet dernier) et selon lesquels l'Union Soviétique n'a aucun besoin de mener à bien un programme intermédiaire comme Gemini — disposant des résultats américains — et peut passer rapidement aux expériences équivalentes du programme Apollo.

C'est également pourquoi nombreux sont ceux qui disent que les Soviétiques seront les premiers sur la Lune grâce aux Américains, et que le coût de cette première phase de la conquête lunaire sera d'autant moins élevé pour l'Union Soviétique que le contribuable américain y aura plus largement participé.

L'Espace, autant que la Terre, compte un bon nombre de « mauvaises langues »...

Américains et Soviétiques coopèrent officiellement

Le 5 décembre 1962, la NASA et l'Académie des Sciences soviétique annonçaient simultanément la signature d'un accord de coopération, fruit des travaux des délégations dirigées par le Dr Hugh L. Dryden et l'Académicien Anatole A. Blagonravov.

Les deux « Grands » de l'Espace s'engageaient à mettre leurs forces en commun dans le domaine de la météorologie, en vue de la mise en place d'un réseau de surveillance météorologique spatiale « au bénéfice des autres nations ».

A l'époque, la NASA avait déjà lancé six satellites Tiros dont les clichés commentaient à être utilisés sur une vaste échelle. Les Soviétiques, pour autant que l'on sache, n'avaient encore rien tenté dans ce domaine, l'une des applications les plus évidentes et les plus intéressantes de la recherche spatiale.

Les années passèrent. La NASA lança Tiros VII, un huitième, un dixième ; un Nimbus extrêmement évolué, puis un second ; un Essa (Tiros opérationnel), puis deux. Ils avaient déjà pris plus de 500 000 photos de la couverture nuageuse dont les météorologistes du monde entier — y compris les Soviétiques — pouvaient disposer, et l'on attendait toujours un petit effort des Russes, fût-il symbolique.

Impatients, les météorologues américains demandèrent à leurs confrères de l'Est, à plusieurs reprises, des explications sur ce curieux comportement. Il leur fut demandé de patienter encore un peu.

Effectivement, en octobre 1965, une délégation soviétique, conduite par l'Académicien Blagonravov et le professeur A.A. Nichiporovich se rendit à New York pour y rencontrer le Docteur John W. Townsend, Directeur adjoint du Goddard Space Flight Center, et Arnold W. Frutkin, Directeur des Affaires internationales au quartier général de la NASA à Washington.

Au cours de discussions dont le détail n'a pas été révélé, les Soviétiques — semble-t-il — expliquèrent leur retard (les prévisions, en matière d'efforts spatiaux sont, justement, un peu comme celles de la météorologie) et confirmèrent qu'ils seraient prêts à échanger des clichés d'ici... quelques mois.

Convaincus, les Américains acceptèrent de signer deux nouveaux accords, réaffirmant ceux de 1962, confirmant que des informations météorologiques « classiques » continueraient à être échangées comme par le passé et prévoyant la mise en place d'une « ligne bleue » pour l'échange d'informations météorologiques spatiales... dans les mois à venir.

Les Russes tinrent parole. A la mi-1966, ils lançaient deux satellites de la série Cosmos destinés à la mise au point d'équipements météorologiques. Cosmos CXXII, enfin, lancé de Baykonour en présence du général de Gaulle, commençait le 11 septembre à photographier la Terre. On ne l'apprit que

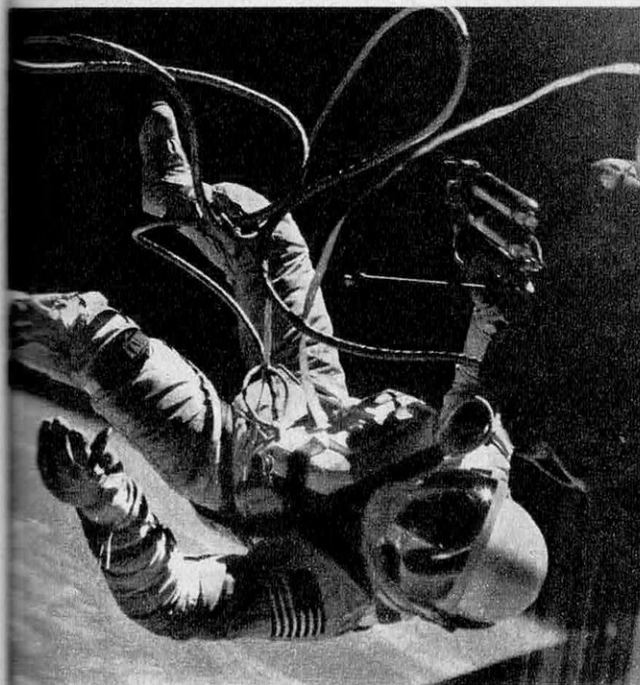


PHOTO NASA

Le second piéton de l'espace, l'Américain Edward White, était doté d'un pistolet à gaz visible ici dans

sa main droite; il put ainsi évoluer dans l'espace avec beaucoup plus de facilité qu'Alexis Leonov.

plus tard, lorsqu'un premier jeu de photos parvint sans préavis aux USA. Ces photos n'ont pas été diffusées, mais la revue « Aviation Week & Space Technology » les décrit comme étant de mauvaise qualité.

De surcroît, tout aussi mystérieusement qu'elles avaient commencé, les transmissions de photos soviétiques cessèrent avant la fin de septembre. Les requêtes américaines restèrent sans réponse et les savants d'outre-Atlantique durent se rendre à la triste évidence : la puissance des signaux du satellite russe avait considérablement faibli. Une nouvelle fois, l'électronique jouait des tours aux Russes.

Un accord impossible

La coopération officielle entre Américains et Russes n'intéresse pas seulement la météorologie. L'accord de 1962 prévoyait la réalisation en commun d'une carte globale du champ magnétique terrestre, des expériences de télécommunications via le satellite-ballon passif Echo II et, grâce à ce dernier et à son frère aîné Echo I, des mesures géodésiques.

Effectivement, quelques mesures de géodésie furent conduites avec Echo I, et Echo II assura quelques échanges radio. Mais les rapports furent des plus timides. Timide aussi la coopération relative à la publication en commun de rapports de biologie et médecine spatiale décidée en 1965.

Mais c'est encore dans le domaine des télécommunications que les accords de 1962

ont conduit au plus grand échec. Ceci se comprend aisément car il s'agit là d'un domaine fort éloigné de la science pure. Les télécommunications sont pour les techniciens de l'Espace un domaine d'applications immédiates, d'applications commerciales de surcroît. C'est dire qu'une entente, déjà très difficile entre les Etats-Unis et l'Europe, est quasi-impossible quand elle intéresse les deux « Grands ». Certes, l'accord de 1962 était formel à cet égard. Une coopération était envisagée pour l'avenir dans le domaine des satellites actifs de télécommunications. Mais, à l'époque, un seul véritable « comsat » avait été lancé : Telstar, et les techniciens en étaient encore à se demander si les futurs réseaux globaux mettraient en œuvre des satellites passifs type Echo, ne faisant que réfléchir les ondes radio, ou des satellites actifs, à défilement comme Telstar et Relay, synchrones ou stationnaires comme Syncom.

Depuis, les choses ont évolué. La Comsat Corporation a été formée avec le succès que l'on sait. Les Early Bird et Intelsat II ont ouvert la voie aux Globats. L'Europe, à son tour, envisage de placer un satellite sur orbite stationnaire à l'aide d'une Europa 1-APS lancée du Centre Spatial guyanais.

Pendant ce temps, qu'a fait l'Union Soviétique ? Longtemps silencieuse, elle a enfin lancé son premier satellite de télécommunications, Molnya I, en avril 1965. Particulièrement puissant (six à sept fois plus qu'Early Bird) il se différenciait surtout des satellites américains par son orbite extrêmement astucieuse, très elliptique, parcourue en douze heures exactement.

L'idée était géniale, les spécialistes américains le reconnurent aisément. L'orbite très elliptique de 12 h amenait le satellite à survoler longuement le territoire soviétique deux fois par jour et il n'était perdu de vue que pendant les heures creuses, le temps de recharger ses batteries.

D'autres Molnya I furent lancés. Ils permirent d'excellentes retransmissions entre Moscou et Paris, et en particulier des émissions en couleur grâce au procédé SECAM-III A.

La véritable « Guerre du Cosmos »

Les Russes n'en resteront certainement pas là. Au delà des récents accords spatiaux franco-soviétiques qui permettront des échan-

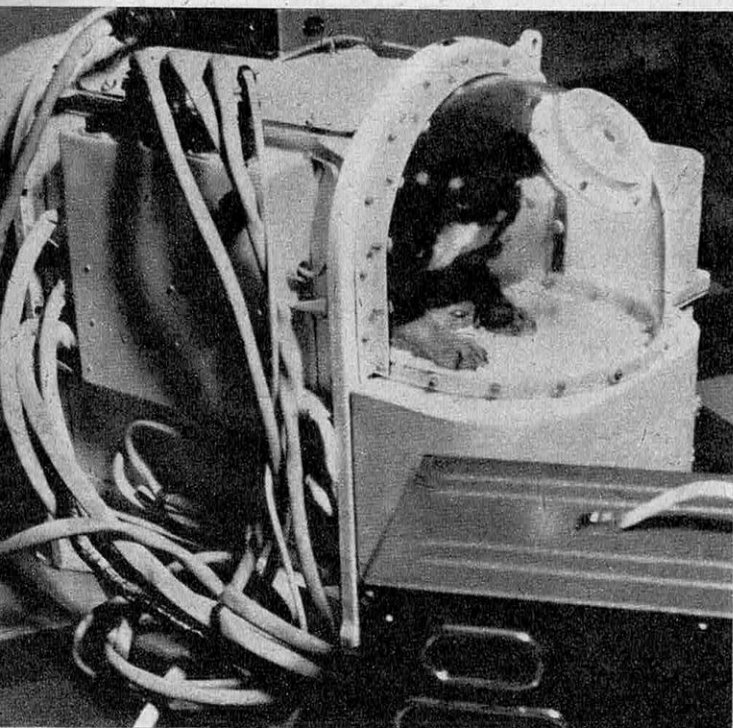


PHOTO APN

En mars 1966, Cosmos CX battait le record de durée des vols « habités » : ses passagers, deux chiens, étaient maintenus 22 jours en orbite. Tra-

versant deux fois par révolution les ceintures de Van Allen, Cosmos CX permit d'étudier les effets biologiques d'une irradiation de longue durée

ges réguliers avant la fin de 1967, l'Union Soviétique voudra sans nul doute, à l'image des Etats-Unis, étendre ses possibilités de diffusion, en particulier vers les pays du Tiers-Monde.

Et là, nous pouvons nous attendre à une « grande guerre du Cosmos », une guerre à coups d'émissions de radio et de télévision.

Un jour, en 1970 peut-être, la vieille Europe lancera son premier petit satellite de télécommunications. Or, à cette époque, la Lune sera bel et bien « conquise ». Tant du côté soviétique que du côté américain, on accordera certainement une importance accrue aux satellites d'applications, ne serait-ce que pour justifier vis-à-vis du contribuable les formidables crédits engagés ces dernières années. Les fusées géantes rodées lors de missions suborbitales, puis circum-terrestres, puis lunaires, seront pleinement opérationnelles.

Pesant 3, 4 ou 5 000 tonnes au départ (une Saturn V pèse 2 700 tonnes), elles seront capables de satelliser 130, 200 tonnes et plus sur orbite basse, 20, 30, voire 50 tonnes sur orbite stationnaire, à 36 000 km au-dessus de la Terre.

Quelques « premières » soviétiques

Date de lancement

- 4-10-57: Premier satellite artificiel de la Terre (Spoutnik I)
- 3-11-57: Premier satellite d'études biologiques (Spoutnik II)
- 2- 1-59: Première « libération » de la Terre (Lunik I)
- 12- 9-59: Premier impact sur la Lune (Lunik II)
- 4-10-59: Premières photographies de la face cachée de la Lune (Lunik III)
- 19- 8-60: Première récupération d'une capsule avec animaux vivants (Spoutnik V)
- 12- 2-61: Premier lancement vers Vénus (Venus I)
- 12- 4-61: Premier vol orbital humain (Vostok I)
- 12- 8-62: Premier rapprochement de véhicules habités dans l'espace (Vostok III et IV)
- 1-11-62: Premier lancement vers Mars (Mars I)
- 16- 6-63: Première mise sur orbite d'une femme (Vostok VI)
- 1-11-63: Premier changement d'orbite (Polyot I)
- 12-10-64: Premier vaisseau spatial multiple (Voskhod I)
- 30-11-64: Premier emploi de fusée à plasma (Zond II)
- 18- 3-65: Première sortie dans l'espace (Voskhod II)
- 16- 7-65: Premier satellite spécialisé dans l'étude des rayons cosmiques (Proton I)
- 16-11-65: Premier impact sur Vénus (Venus III)
- 31- 1-66: Premier alunissage en douceur et premières photos prises sur la Lune (Luna IX)
- 31- 3-66: Premier satellite artificiel de la Lune (Luna X)

Quelques « premières » américaines

Date de lancement

- 1- 2-58: Première détection des ceintures de Van Allen (Explorer I)
- 17- 3-58: Premier emploi de cellules solaires pour la fourniture d'énergie électrique (Vanguard I)
- 18-12-58: Premier satellite actif de télécommunications (Score)
- 7- 8-59: Premières images télévisées de la Terre (Explorer VI)
- 1- 4-60: Premier satellite météorologique (Tiros I)
- 13- 4-60: Premier satellite de navigation (Transit I B)
- 22- 6-60: Premier lancement double (Transit II A, Greb I)
- 10- 8-60: Première récupération d'une capsule spatiale (Discoverer XIII)
- 12- 8-60: Premier satellite passif de télécommunications (Echo I)
- 7- 3-62: Premier satellite-observatoire (O.S.O.-I)
- 27- 8-62: Première sonde passée près de Vénus (Mariner II)
- 31-10-62: Premier satellite d'études géodésiques (Anna I B)
- 26- 7-63: Première satellisation sur orbite synchrone (Syncom II)
- 28- 9-63: Premier satellite alimenté exclusivement par générateur nucléaire isotopique (Transit V B)
- 17-10-63: Premiers satellites de détection d'explosions nucléaires (Vela I et II)
- 28- 7-64: Premières images rapprochées de la surface lunaire (Ranger VII)
- 28-11-64: Premières images rapprochées du sol martien (Mariner IV)
- 23- 3-65: Premiers changements d'orbite d'un véhicule habité (Gemini III)
- 6- 4-65: Premier satellite commercial de télécommunications (Early-Bird I)
- 3- 6-65: Premier emploi humain d'un propulseur autonome (Gemini IV)
- 21- 8-65: Première utilisation d'une pile à combustible (Gemini V)
- 4-12-65: Premier rendez-vous dans l'espace (Gemini V et VI)
- 15-12-65: Premier arrimage de véhicules spatiaux sur orbite (Agena et Gemini VII)
- 16- 3-66: Premier arrimage de véhicules spatiaux sur orbite (Agena et Gemini VII)
- 10- 8-66: Premières photos prises par un satellite de la Lune (Lunar Orbiter I)

Le programme Ranger de prises de vues rapprochées du sol lunaire a connu son pre-

mier succès avec Ranger VII, lancé le 28 juillet 1964 par une fusée Atlas-Agena.

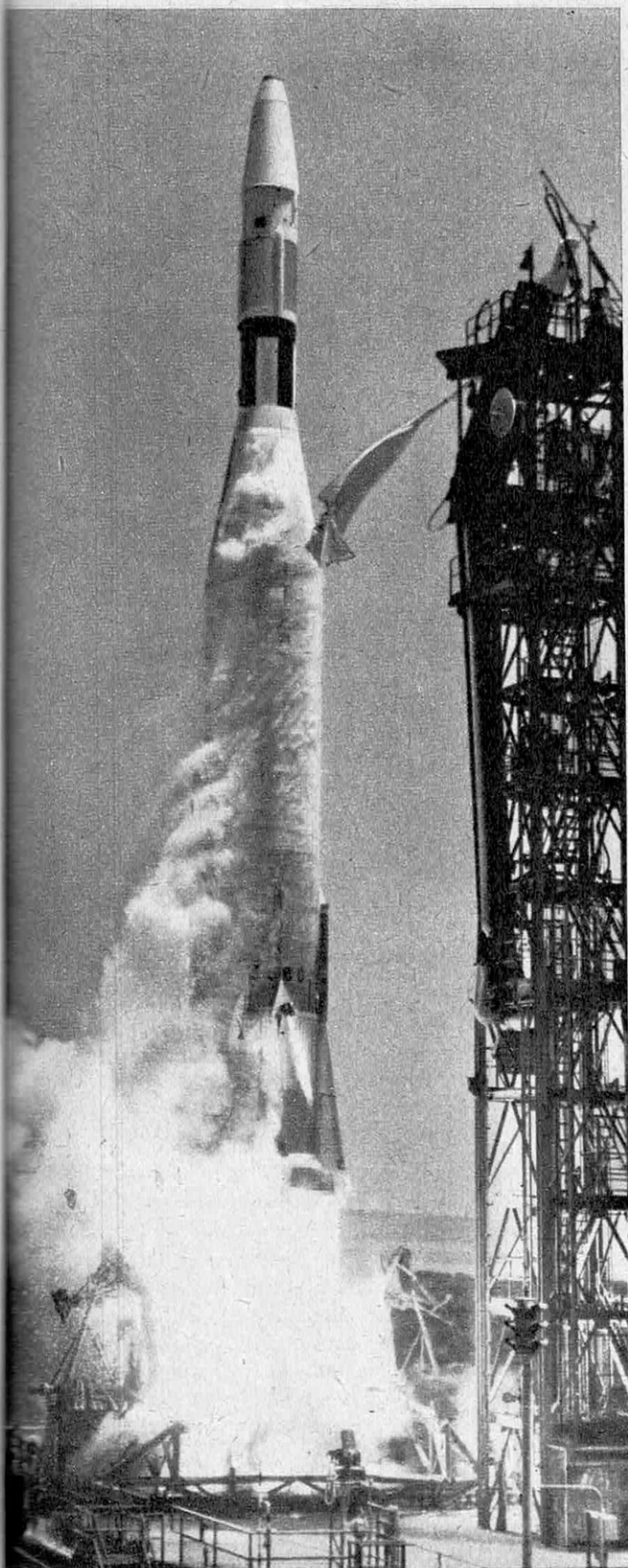


PHOTO USIS

Or, avec 20 tonnes stationnaires, on peut faire beaucoup de choses. On peut faire un satellite de télécommunications quasi-permanent, réparé sur place au besoin par les « hommes de l'Espace » qui sillonneront le ciel, un satellite si puissant que les télespectateurs n'auront plus à passer par l'intermédiaire encombrant des antennes géantes comme celle de Pleumeur-Bodou. Une petite antenne individuelle (ou collective, par immeuble) suffira. Elle leur permettra de capter au choix les Ballets du Bolchoï sur l'une des chaînes soviétiques ou, sur une chaîne relayée par le concurrent américain, les meilleurs westerns.

Le tout se fera aussi facilement que les télespectateurs parisiens captent aujourd'hui les émissions en provenance de la Tour Eiffel. Pour les télespectateurs, c'est évidemment très tentant. Pour les gouvernements, c'est un danger sans pareil. Pour les Etats-Unis et l'URSS, c'est une arme qui dépasse en efficacité toutes celles connues.

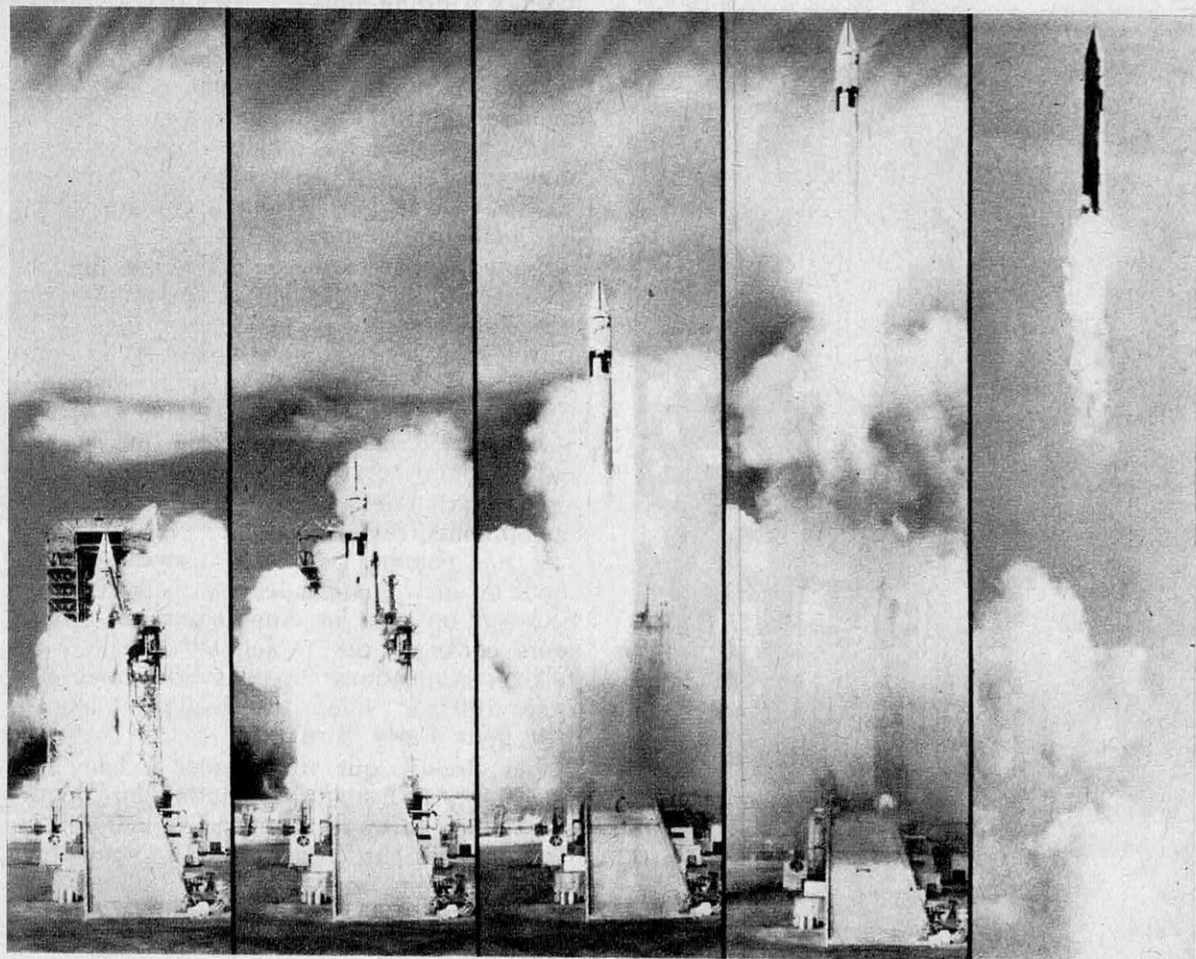
Que seront le « Super-comsat » américain et son concurrent soviétique ? Nul ne le sait. Les uns comme les autres restent évidemment discrets quant à leurs projets. Tout au plus sait-on que les Américains ont « dans leurs cartons » des projets de satellites de télécommunications capables de relayer jusqu'à 100 000 voies téléphoniques (contre 240 pour Early Bird).

Les Russes, qui vont placer à leur tour des Molnya II sur orbite stationnaire, pourraient bien rattraper rapidement leur retard. Certains laissent entendre qu'ils souhaitent accéder le plus vite possible au stade de la station émettrice orbitale géante dont les équipages seraient ravitaillés et relevés périodiquement à l'aide de fusées. Une telle station aidée de deux relais, à 120° les uns des autres, inonderait le monde entier de ses émissions.

La grande course lunaire est certes plus qu'une opération de pur prestige. C'est un sujet d'étude, un problème à résoudre qui permet d'en résoudre quantité d'autres. C'est l'occasion d'une lutte inégale non pas entre les deux concurrents mais entre chacun d'entre eux et cet Espace dont le vide représente les richesses de demain. La première grande guerre cosmique ne sera pas résolue à coups de bombes, mais il est à craindre qu'elle soit tout aussi dangereuse, dans la mesure où deux « Grands » seulement — devenus « Super-grands » par l'Espace — auront compris qu'il était grand temps d'utiliser pleinement la troisième dimension de notre Univers.

Jacques TIZIOU

LA PROPULSION



La clé de l'exploration spatiale est la propulsion par fusée, la seule qui puisse être mise en œuvre au delà de l'atmosphère sensible, dans un domaine qui relève uniquement de la réaction pure.

Le principe de la fusée est simple : elle éjecte un flux de molécules gazeuses ou d'autres particules dans une certaine direction et il en résulte par réaction un effort propulsif dans la direction opposée, d'autant plus grand que la masse éjectée par seconde est plus importante et que la vitesse d'éjection est elle-même plus élevée.

Un système de propulsion par fusée est entièrement autonome et comporte tout ce qui est nécessaire à son fonctionnement. C'est une sujétion grave car, au moment de son lancement, une fusée doit emporter toute la matière qu'elle éjectera en vol,

Les premières phases du lancement d'un engin spatial par fusée Atlas-Centaur. Le propulseur du premier éta-

ge développe toute sa puissance pour traverser rapidement la basse atmosphère et vaincre la pesanteur.

en une ou plusieurs fois suivant les modalités de sa mission. La charge utile ne peut ainsi représenter qu'une fraction relativement faible de sa masse totale au départ. Mais, d'un autre côté, elle possède le grand avantage de pouvoir fonctionner quel que soit l'environnement, dans le vide de l'espace comme dans l'atmosphère. En fait, le rendement propulsif d'une fusée est sensiblement meilleur dans le vide que lorsqu'elle opère dans l'atmosphère dense.

Les fusées se distinguent essentiellement entre elles par la manière dont sont obtenues les grandes vitesses d'éjection. De ce

point de vue, elles se rangent en trois classes principales : celles où l'énergie est fournie par des réactions chimiques ; celles où la matière éjectée est portée à haute température par chauffage direct (comme dans une fusée nucléaire, par exemple) ; celles enfin où des particules chargées électriquement sont accélérées par des champs électriques ou électromagnétiques. Toutes les fusées actuellement utilisées en astronautique sont du premier type et les deux dernières classes ne sont encore représentées que par des dispositifs expérimentaux. Cependant, dans un avenir sans doute assez proche, le développement de la navigation spatiale pourra dépendre de leur mise au point, et c'est à ce titre que nous devons les évoquer plus loin.

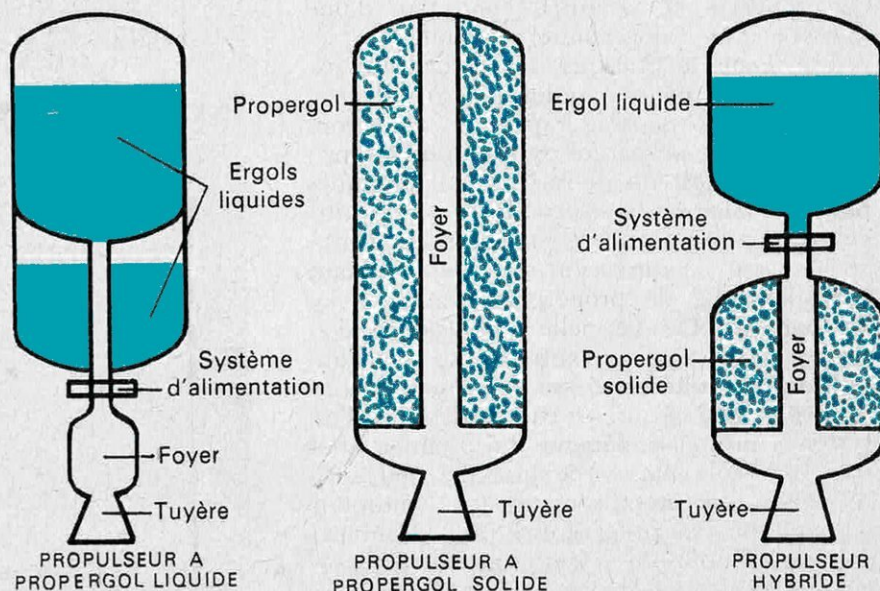
L'extrême diversité de réalisation des fusées actuelles mettant en œuvre des réactions chimiques leur permet de répondre à toutes les exigences des manœuvres que comportent les missions assignées aux véhicules spatiaux : lancement, séparation des étages, réallumages en vol pour ajustage d'orbite, stabilisation et contrôle d'attitude, rendez-vous éventuels, freinage pour rentrée dans l'atmosphère, etc. Selon la nature de ces manœuvres, les propulseurs et les techniques pourront être très différents et une puissance réduite suffira souvent lorsque l'engin aura été placé sur sa trajectoire spatiale. Mais toujours, lors du départ, il faudra mettre en œuvre des puissances considérables. Le transport depuis le sol jusqu'à une orbite de satellisation, premier stade d'un voyage spatial, est une opération particulièrement coûteuse tant en raison de la grandeur de la vitesse à créer que des conditions particulièrement ingrates dans les-

quelles la fusée doit travailler pour vaincre la pesanteur.

La technique de mise sur orbite théoriquement la plus économique est celle qu'a définie Hohmann : prendre le départ horizontalement en plaçant le véhicule sur une orbite de « transfert », ellipse dont l'apogée, aux antipodes du point de lancement, se trouve à l'altitude désirée pour l'orbite définitive ; une impulsion complémentaire en ce point arrondirait la trajectoire. Il est évident que cette méthode est impraticable. Il ne peut être question, au niveau du sol, de lancer un engin à une vitesse de l'ordre de 10 km/s ; il se consumerait rapidement du fait de la résistance de l'air, que le lancement soit d'ailleurs fait horizontalement ou verticalement. Lui imprimer d'autre part une telle vitesse par une seule impulsion de courte durée serait l'exposer à des accélérations telles que sa structure n'y résisterait pas, pour ne rien dire des instruments et à fortiori des êtres humains qu'il pourrait emporter. On voit qu'un compromis s'impose pour que les basses couches de l'atmosphère soient traversées à vitesse assez réduite, avec une accélération modérée mais suffisante pour réduire le temps pendant lequel la pesanteur terrestre exerce son action retardatrice. Celle-ci entraîne une dépense d'énergie en pure perte qui s'ajoute à l'énergie cinétique utile qu'il faut imprimer à l'engin, et grève lourdement le bilan de l'opération. Il y a là un problème d'optimisation dont les termes diffèrent d'un lancement à un autre.

La technique des lancements est maintenant bien au point. Ils s'effectuent suivant la verticale et les couches atmosphériques

Schémas de principe des propulseurs chimiques : à propergol liquide, à propergol solide et hybrides. Les moteurs à propergol solide sont beaucoup moins complexes que les propulseurs à liquides mais leur impulsion spécifique est toujours nettement plus faible. De plus, ils ne permettent pas extinctions et réallumages successifs au cours d'un vol. Le propulseur hybride pourrait constituer une solution de compromis.



denses sont ainsi traversées rapidement, bien que le départ soit lent. La poussée du ou des propulseurs s'exerce sur une fusée dont la masse va en décroissant à mesure que son propulsif se consomme et l'accélération croît en même temps que la vitesse. A partir d'une certaine altitude, la trajectoire s'incurve et la fusée, allégée de ses premiers étages abandonnés successivement après épuisement de leur combustible, exerce une dernière impulsion à l'horizontale et libère éventuellement le satellite. S'il s'agit d'une orbite d'attente, première escale d'une mission plus lointaine, des propulseurs entreront de nouveau en action au moment convenable pour placer l'engin sur la trajectoire définitive prévue.

LA PROPULSION CHIMIQUE

On distingue deux catégories principales de fusées mettant en œuvre des réactions chimiques d'après la nature de leur *propergol*, terme qui désigne les corps ou les systèmes de corps utilisés pour ces réactions : celles à propergol liquide et celles à propergol solide. L'élément oxydant prend souvent le nom de *comburant*, et les carburants proprement dit celui des *combustibles*. La réaction, très exothermique, a lieu dans une chambre de combustion et les gaz qui en proviennent se détendent dans une tuyère où ils sont accélérés.

Pour apprécier les performances d'une fusée, on peut considérer sa consommation spécifique, obtenue en rapportant la consommation de propergol par unité de temps à la poussée ; ce sera, par exemple, le poids de propergol nécessaire à l'entretien d'une poussée d'un kilogramme pendant une seconde. Dans la pratique, les spécialistes expriment cette consommation par son inverse, c'est-à-dire la poussée rapportée à la consommation de propergol par unité de temps ; comme il s'agit de diviser des kilogrammes par des kilogrammes/seconde, on voit que ce paramètre se chiffre en secondes. C'est, si l'on veut, la durée, en secondes, pendant laquelle 1 kg de propergol donnera 1 kg de poussée. On l'appelle *impulsion spécifique* car ce n'est pas autre chose que l'impulsion par unité de masse de propergol consommé. Cette propriété caractéristique d'un système propulsif dépend au premier chef du propergol, mais varie quelque peu avec le dessin du propulseur et les conditions d'opération. Les propergols liquides courants ont une impulsion spécifique de 300 secondes au niveau de la mer et de 350 se-

condes vers 35 km d'altitude ; les valeurs sont sensiblement moindres pour les propergols solides.

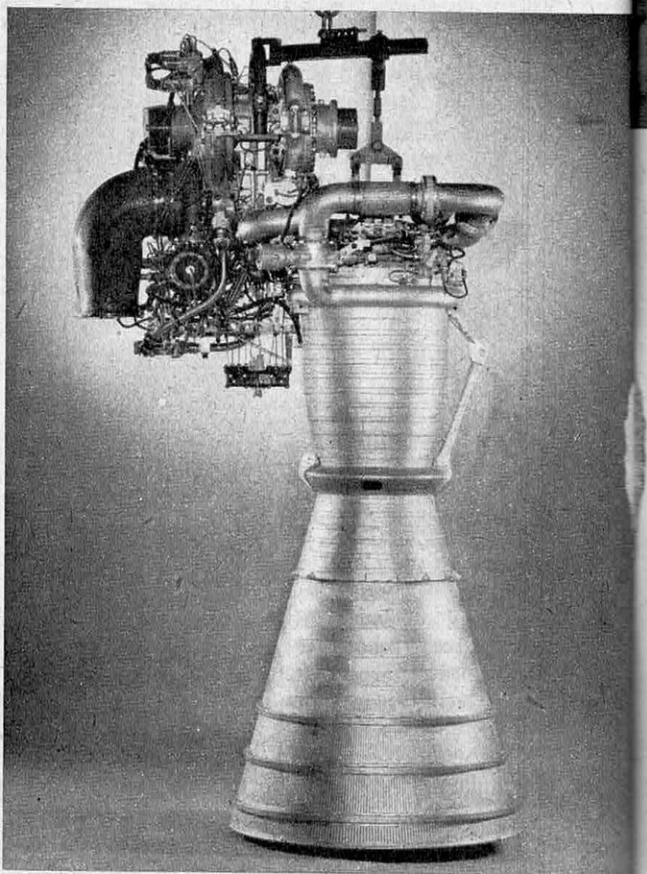
La vitesse d'échappement est proportionnelle à l'impulsion spécifique. Comme plus la vitesse d'échappement est grande et plus la vitesse qu'une fusée peut atteindre est élevée, on voit que, pour des missions demandant de grandes vitesses, le choix doit se porter sur des propergols de forte impulsion spécifique.

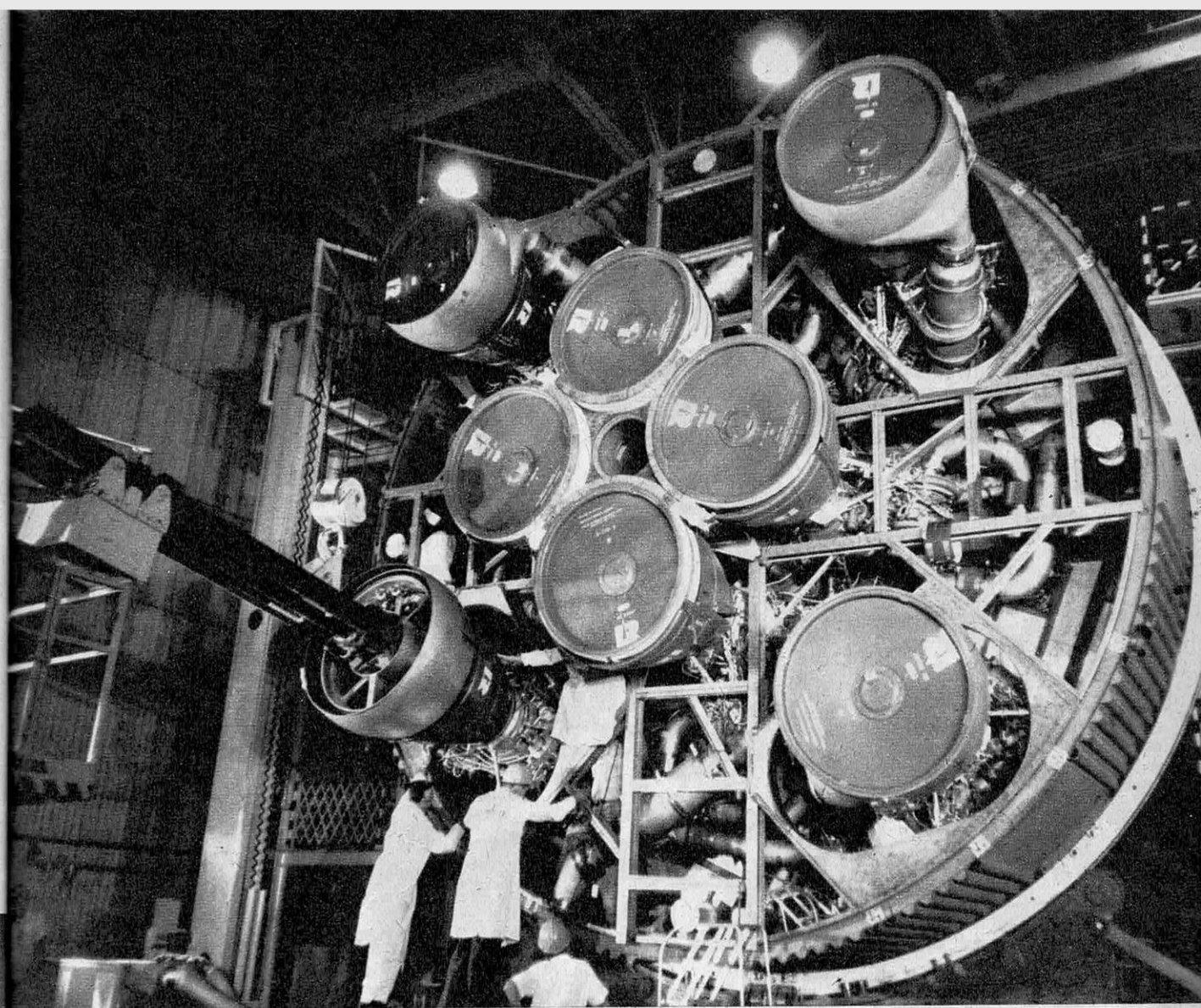
LES PROPULSEURS A PROPERGOL LIQUIDE

Dans l'état actuel de la technique, c'est cette catégorie de propulseurs qui équipe presque tous les lanceurs parmi les plus puissants. Pour donner une idée concrète des difficultés que pose leur réalisation, citons d'abord quelques chiffres. Le propulseur de l'Atlas, qui servit aux premières satellisations d'astronautes américains dans le programme Mercury et est d'un emploi courant tant par l'Air Force que par la NASA,

Fonctionnant au kérosène et oxygène liquide, le moteur-fusée Rolls-Royce RZ-2 développe dans sa

version la plus évoluée près de 70 tonnes de poussée. Cette version équipe le premier étage du lanceur Europa I.





développe une poussée au sol de l'ordre de 180 tonnes ; il est alimenté en oxygène liquide et en kérosène et son impulsion spécifique est de l'ordre de 275 secondes, ce qui correspond à une consommation de 660 kg de propergol par seconde. Pour le premier étage de la fusée Saturn I qui a lancé les satellites Pegasus, la poussée dépasse 650 tonnes et la consommation s'établit à 2 300 kg par seconde. C'est encore peu de chose à côté de Saturn V, le lanceur du programme Apollo, avec ses 3 400 tonnes de poussée et sa consommation de 14 tonnes par seconde, soit près de 3 tonnes pour chacun de ses cinq moteurs-fusées ; en 1 minute de fonctionnement, ce sont quelque 900 tonnes de propergol qui brûlent et sont éjectées par les tuyères. On conçoit quelles difficultés peut présenter en particulier la réalisation de systèmes d'alimentation assurant un tel débit.

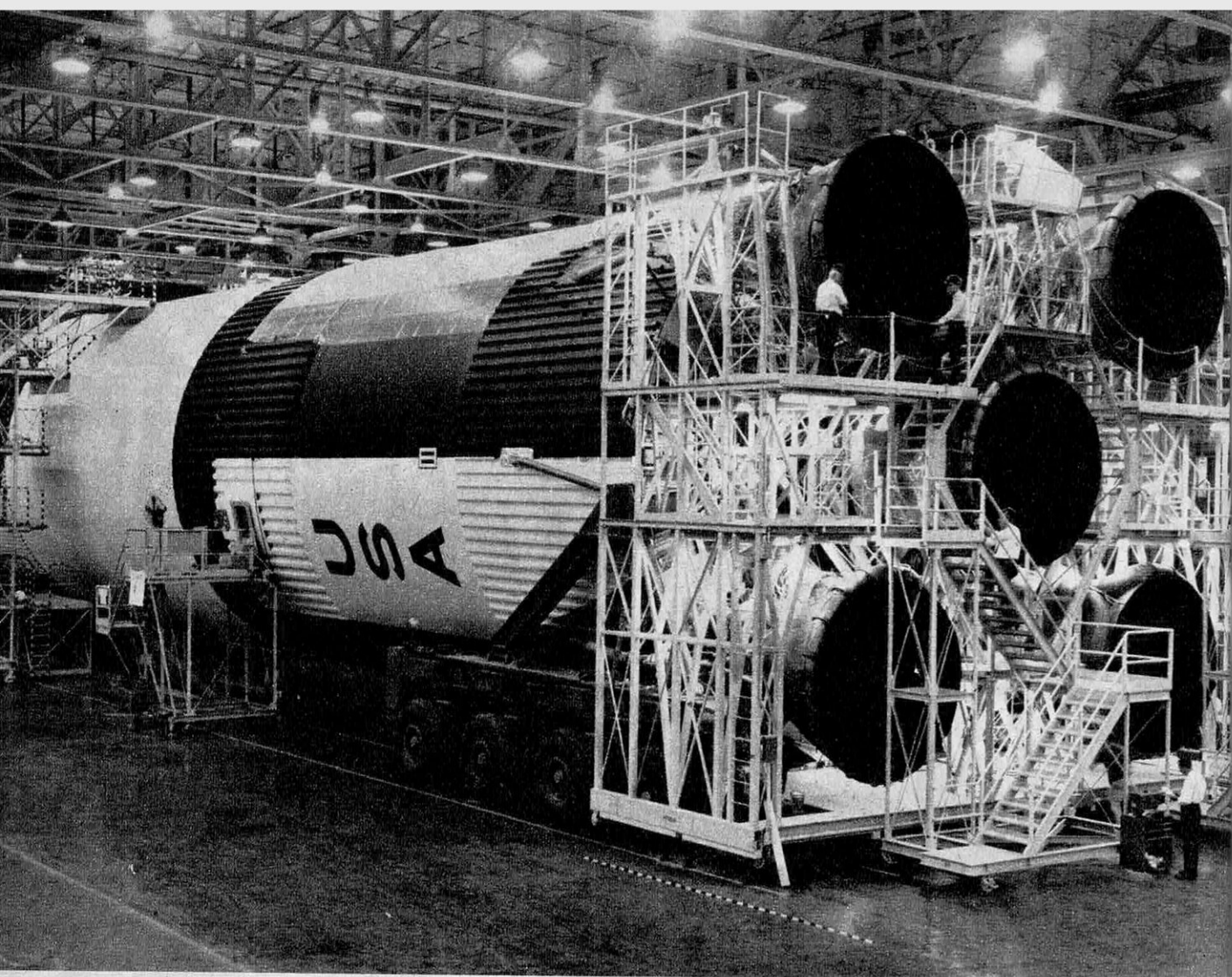
Les liquides entrant en réaction peuvent être chassés de leurs réservoirs vers la chambre de combustion par des gaz sous

Les 8 moteurs Rocket-dyne H-1 du premier étage de la fusée Saturn 1B développent une poussée unitaire

supérieure à 90 tonnes. Les tuyères périphériques sont d'un type évolué permettant le pilotage au lancement.

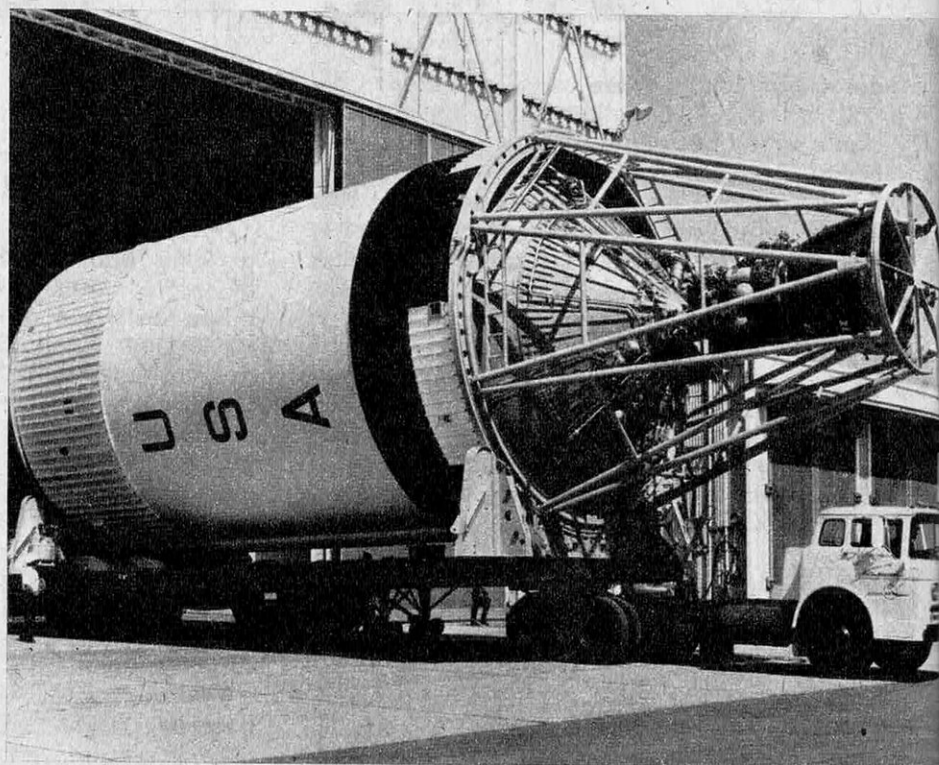
pression fournis soit par un accumulateur de gaz à haute pression, soit par un générateur de gaz à propergol liquide ou solide (générateur à poudre par exemple dans le premier étage de la fusée française Diamant). De ce fait, les réservoirs doivent avoir des parois relativement épaisses. Les liquides peuvent aussi être extraits des réservoirs, alors à parois minces et très légères, par des pompes qui les refoulent dans la chambre de combustion, ces pompes étant elles-mêmes entraînées par une turbine mue par les gaz chauds d'un générateur à gaz. C'est la technique la plus couramment utilisée en Amérique.

Certains moteurs-fusées de puissance relativement faible utilisent un liquide unique dont la décomposition fournit l'énergie pro-



▲ Le premier étage du lanceur Saturn V est équipé de cinq moteurs-fusées Rocketdyne F-1. L'ensemble assurera au départ de la fusée une poussée d'environ 3 400 t.

► De conception plus évoluée, les étages supérieurs de Saturn V fonctionneront avec oxygène et hydrogène liquides. Le moteur de base sera le même, le type J-2 de 90 tonnes de poussée. Ci-contre le troisième étage pourvu d'un seul J-2.

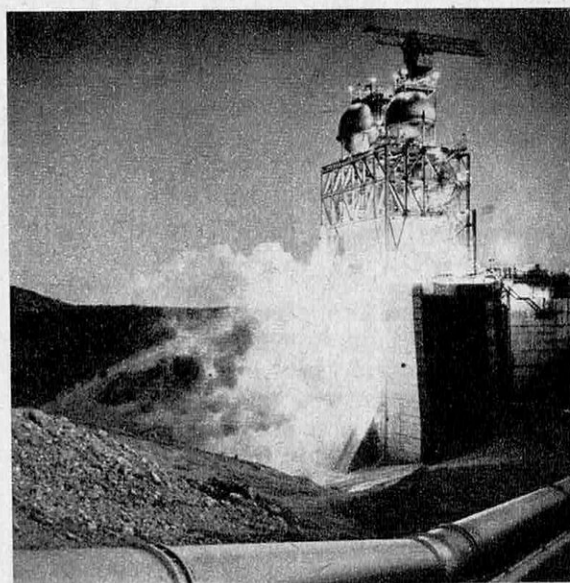
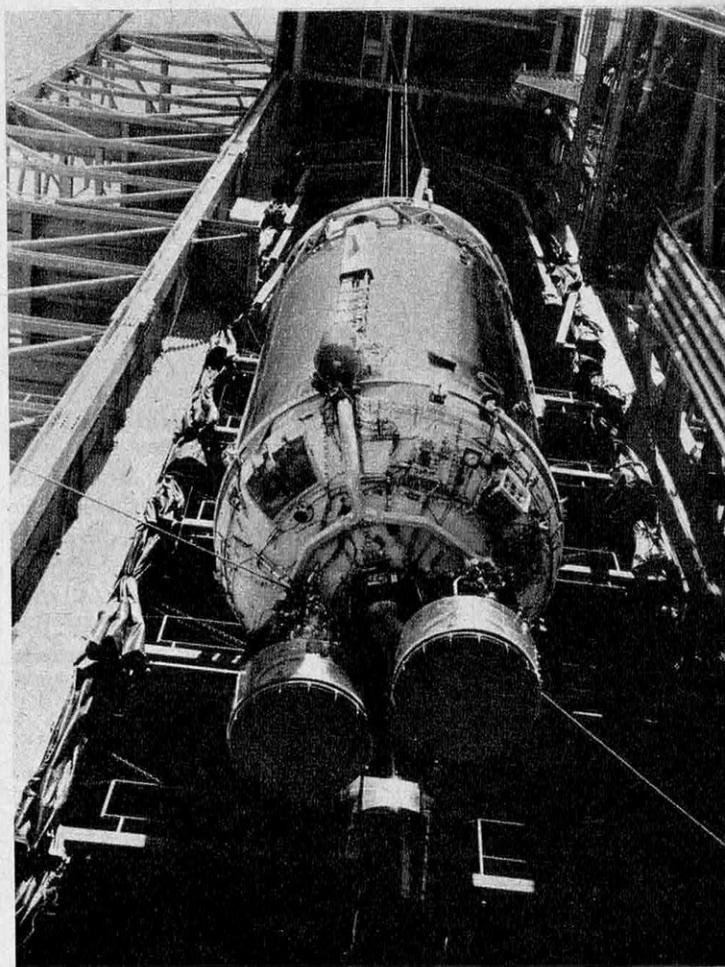


L'étage Centaur comporte deux moteurs à hydrogène et oxygène liquide fournissant une poussée totale de près de 14 tonnes. Combiné

à un premier étage Atlas, la Centaur a servi à tirer les premiers engins Surveyor chargés de photographier le sol de la Lune.

pulsive. Il s'agit alors d'un « monergol », comme le perhydrol (eau oxygénée à forte concentration) et l'hydrazine (composé hydrogéné de l'azote) qui sont à peu près les seuls à être utilisés en pratique. Un catalyseur convenable (mousse de platine ou de nickel argenté pour le perhydrol, oxyde d'aluminium pour l'hydrazine) provoque leur dissociation exothermique dans de petits moteurs-fusées (changements d'orientation des capsules spatiales Mercury, par exemple, correction de trajectoire des sondes spatiales Ranger et Mariner).

Mais la presque-totalité des propulseurs de puissance sont animés par un propergol à deux liquides (on dit alors un « diergol »), un combustible et un comburant, logés dans des réservoirs séparés et mis en contact seulement dans la chambre de réaction. Il faut un dispositif d'allumage particulier sauf lorsqu'il s'agit d'« hypergols », c'est-à-dire de substances qui s'enflamment spontanément dès qu'elles sont réunies. Une des plus anciennes combinaisons d'ergols est celle de l'alcool éthylique et de l'oxygène liquide qui fut utilisée sur les missiles tels que la V-2 allemande et le Redstone américain ; elle ne présente plus qu'un intérêt historique. Les grandes fusées modernes font appel pour la plupart à des mélanges d'hydrocarbures apparentés au kérosène et aux combustibles pour avions à réaction (JP-4, JP-5, RP-1), en conjonction avec de l'oxygène liquide comme comburant. L'emploi de l'hydrogène comme combustible fournit des impulsions spécifiques très supérieures et la mise au point de moteurs-fusées utilisant cette combinaison est en plein développement. Elle est déjà appliquée dans les étages supérieurs des lanceurs Atlas-Centaur et Saturn I et V. Le fluor et ses composés donneraient théoriquement des résultats encore supérieurs du point de vue impulsion spécifique à ceux fournis par l'oxygène liquide, mais ils sont extrêmement réactifs et difficiles à manipuler ; ils sont de plus extrêmement toxiques ainsi que leurs produits de combustion. Des essais de propulseurs au fluor et à l'hydrogène ont cependant donné des résultats encourageants. Des études se poursuivent avec des dérivés du fluor : trifluorure de chlore, fluorure de perchloxy, tétrafluorohydrazine, oxyde de fluor, dont certains présentent l'avantage d'avoir à l'état liquide une densité



Le moteur Rocketdyne F-1 qui équipera la fusée géante Saturn V est le plus puissant réalisé à ce jour aux

États-Unis. Ci-dessus, un moteur F-1 subit des essais statiques au banc au Centre d'Edward en Californie.

élevée, ce qui permet de réduire le volume des réservoirs de stockage et donc le poids mort de structure de la fusée.

Si l'on considère les propriétés physiques, les ergols se divisent en deux catégories : les ergols cryogéniques et les ergols stockables. Les premiers, comme l'hydrogène et l'oxygène, sont normalement gazeux et ne peuvent manifestement pas être stockés sous cette forme. Il faut les liquifier, ce qui exige de très basses températures ; les réservoirs doivent être calorifugés et leur plein doit être entretenu jusqu'au moment du lancement. Les ergols stockables, par contre, ont une température d'ébullition qui permet leur conservation aisée aux températures ambiantes. Les combustibles stockables sont pour la plupart des dérivés de l'hydrazine : MMH (*monomethylhydrazine*), UDMH (*unsymmetrical dimethylhydrazine*), en mélanges divers (l'hydrys est un mélange de 60 % d'UDMH et 40 % de diéthylèneetriamine). Leur densité est comparable à celle du kérosène et leur pouvoir calorifique est élevé.

Les oxydants stockables sont surtout représentés par le peroxyde d'azote et l'acide nitrique, ce dernier le plus souvent sous forme d'IRFNA (*Inhibited Red Fuming Nitric Acid*) qui est de l'acide nitrique additionné de 13 à 15 % de peroxyde d'azote et d'un inhibiteur (acide fluorhydrique) anticorrosion provoquant la formation d'un film protecteur sur les parois des réservoirs. Cet oxydant est largement utilisé avec l'UDMH comme combustible dans plusieurs moteurs-fusées, en particulier celui de l'étage Agena qui a servi et sert toujours au lancement de nombreux satellites et sondes spatiales. Ces combinaisons présentent l'avantage d'être hypergoliques et dispensent de prévoir un dispositif d'allumage.

LES PROPULSEURS A PROPERGOL SOLIDE

Les fusées à propergol solide sont infiniment moins compliquées que celles à liquide. Le propergol est logé dans la chambre de combustion avec comme seuls accessoires un allumeur et une tuyère.

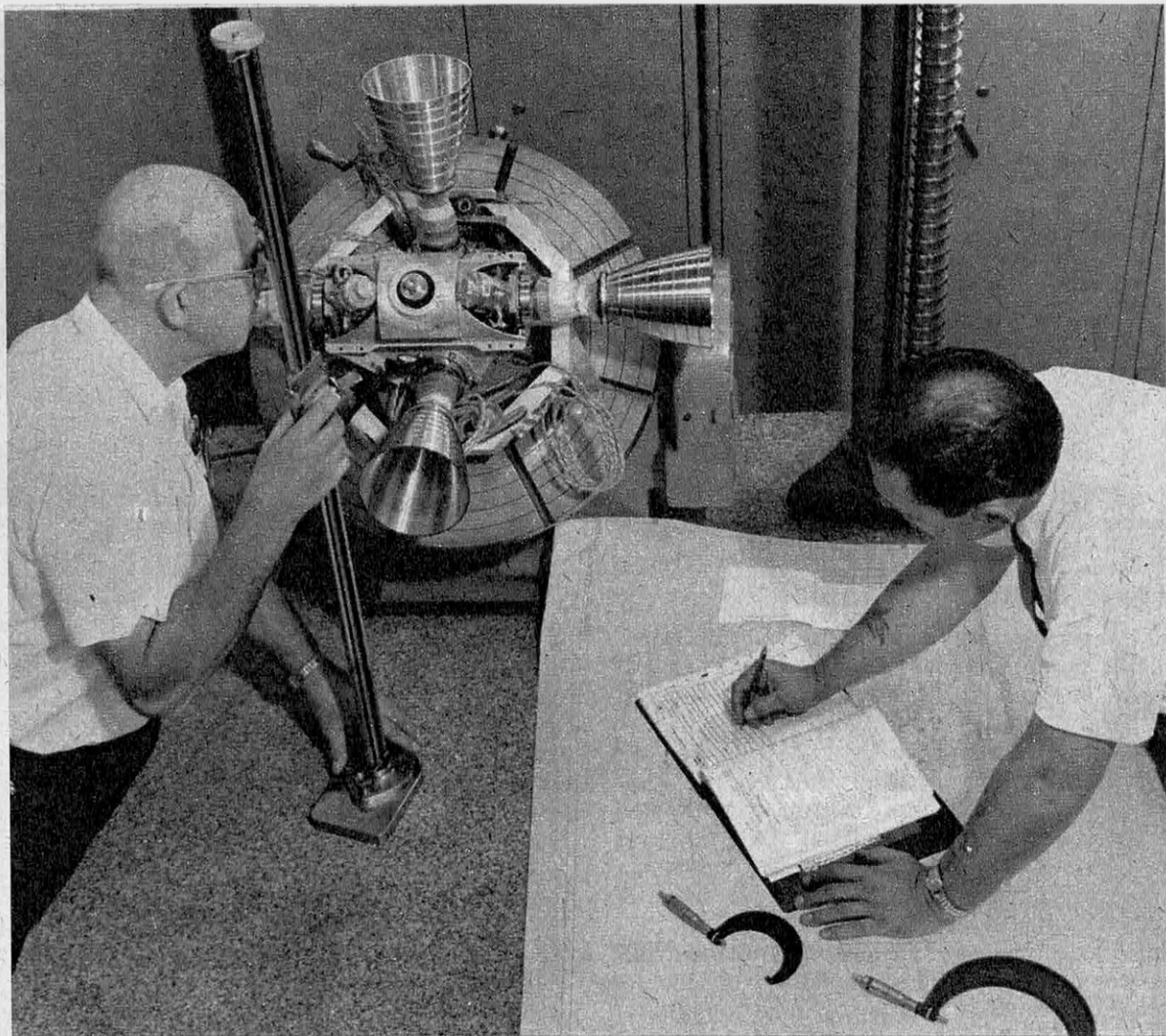
Par propergol solide, il faut entendre un mélange plus ou moins complexe de produits chimiques, constituant à la fois le comburant et le combustible et dont la décomposition chimique s'entretient d'elle-même une fois qu'elle a été amorcée. On l'appelle communément « poudre », bien qu'il n'y ait pas d'élément pulvérulent et que le propergol solide ait plutôt l'aspect d'un bloc de matière plastique ou de caoutchouc synthétique.

Les poudres se divisent en deux groupes principaux, les poudres homogènes et les poudres composites. Les premières, dites poudres à double base, sont formées de nitrocellulose gélatinisée par un ester nitrique liquide comme la nitroglycérine et de divers additifs. Elles peuvent être extrudées ou moulées et dans ce dernier cas fournir des blocs de plusieurs centaines de kilogrammes. Elles ne servent cependant que pour la propulsion d'éléments relativement petits, tandis que pour les gros propulseurs on fait appel aux poudres composites (il en existe des blocs de plus de 200 tonnes).

Ces dernières sont obtenues par un mélange intime de deux constituants dont l'un forme le combustible (le plus généralement il s'agit de résines vinyliques, de résines polysulfurées ou de polyuréthanes) et l'autre l'oxydant (nitrate ou perchlorate de métaux alcalins ou d'ammonium). On ajoute souvent aux poudres composites des éléments métalliques légers à très forte chaleur d'oxydation, tels que l'aluminium et le magnésium en poudre très fine, afin d'augmenter la température de combustion et ainsi d'améliorer l'impulsion spécifique. On atteint maintenant couramment 245 secondes et on dépassera sans doute ce chiffre dans un proche avenir. Cependant les meilleures poudres sont toujours inférieures de ce point de vue aux propergols liquides courants, compensant ce désavantage par une densité plus forte et par une plus grande simplicité de réalisation des moteurs-fusées.

Une poudre brûle de façon continue par couches parallèles à la surface en contact avec les gaz de combustion. La poussée est liée au débit des gaz produits qui est proportionnel à la fois à la vitesse de combustion et à la surface en combustion. Avec une poudre donnée, pour obtenir une poussée constante, il faut que cette surface demeure constante. C'est ce que l'on réalise en général en ménageant dans le chargement un trou central étoilé dont le contour se déforme en cours de combustion de telle façon que la surface exposée reste sensiblement constante. Cette technique n'est cependant plus praticable pour de très grands diamètres, tels que ceux des propulseurs segmentés qui comportent plusieurs centaines de tonnes de poudre. Le canal central est circulaire et pour que la surface totale en combustion reste constante on revêt certaines zones du bloc d'inhibiteurs, c'est-à-dire d'enduits empêchant la combustion.

La réalisation du corps même des propulseurs à poudre pose des problèmes plus ardues qu'avec les propulseurs à liquides, d'une part parce que les pressions internes



auxquelles il est soumis sont dix à vingt fois plus grandes, et d'autre part parce qu'il supporte habituellement tous les efforts subis par le véhicule en vol. Certains corps de fusées à poudre sont sphériques et donnent ainsi la performance maximum évaluée en poids pour un même volume ; il s'agit surtout de petits propulseurs auxiliaires et la grande majorité des corps sont cylindriques. Les propulseurs tels que ceux servant à la séparation d'étages de lanceurs de satellites sont fabriqués à partir de tubes d'acier filés. Ceux, plus complexes, qui doivent avoir de multiples points de fixation avec la structure sont généralement en alliages de magnésium coulés. Les propulseurs plus importants peuvent avoir des corps monolithiques, réalisés en acier ou en alliage à base d'aluminium, de titane ou de béryllium. Les plus avancés ont une structure composite avec des enveloppes en complexe verre-résine formées en enroulant sur un mandrin démontable des fibres de verre de quelques microns de diamètre enrobées de résine synthétique qui est ensuite polymérisée. On obtient ainsi des corps de plusieurs mètres de diamètre qui, pour des pressions de fonctionnement égales, sont nettement plus légers que les corps

Le contrôle de la vitesse des Lunar Orbiter est assuré par un petit moteur de 45 kg de poussée fonctionnant au peroxyde d'azote et à l'aérozine 50 (mélange à 50 %

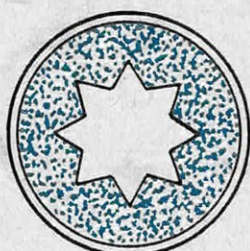
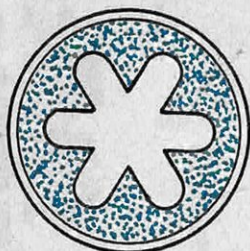
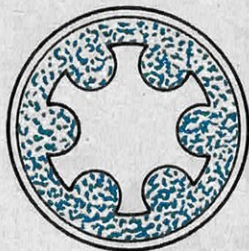
d'hydrazine et d'UD MH). Le même moteur sera utilisé par groupes de quatre (ci-dessus) sur le module lunaire (LEM) et sur le module de service du projet Apollo.

métalliques. Les fils de béryllium pourraient offrir des solutions intéressantes lorsque l'économie de poids justifie leur coût élevé.

Les contraintes critiques doivent de toute façon être analysées avec soin. Leur étude se complique du fait que beaucoup de grosses fusées n'ont plus une tuyère d'échappement unique et axiale, mais plusieurs tuyères périphériques, ce qui détruit la symétrie de révolution.

La technologie de la propulsion par propulseurs solides est en rapide évolution. Les lanceurs spatiaux à étages multiples ont eu en principe, dans le passé, un moteur-fusée par étage. La tendance, pour obtenir les fortes poussées qu'exigent les lourdes charges à mettre sur orbite ou à lancer dans l'espace interplanétaire, est à l'utilisation de faisceaux de propulseurs groupés par étage et éven-

SECTIONS DE BLOCS DE POUDRE A SURFACE DE COMBUSTION CONSTANTE



Pour maintenir une vitesse de combustion constante à la surface d'un bloc de poudre, on est amené à donner à la section une forme géométrique telle que sa déformation au cours de la combustion donne une surface constante.

tuellement à combiner de grands propulseurs à propergol solide avec des propulseurs à liquides, comme sur le Titan III C.

LES PROPULSEURS HYBRIDES

La propulsion dite « hybride » fait appel à une combinaison d'ergols dont l'un (en général le combustible) est solide et l'autre (en général l'oxydant) est liquide.

Si les Allemands avaient déjà essayé un système charbon-oxyde nitreux, ce n'est que vers 1960 qu'aux Etats-Unis on a commencé à s'intéresser à ce problème. Les missions demandées aux véhicules spatiaux devenant de plus en plus compliquées, les moyens conventionnels ne couvraient plus les besoins car ils ne permettaient pas un contrôle précis des temps de combustion, un rallumage après une longue période sans combustion ou une modulation de la poussée avec un temps de réponse très court.

Dans une fusée hybride, le combustible solide et l'oxydant forment une combinaison hypergolique, l'allumage se faisant spontanément dès que les éléments sont en contact. Comme dans un propulseur à poudre, le combustible solide est logé dans la chambre de combustion, tandis que la section liquide comporte un réservoir et un système d'alimentation par mise sous pression du réservoir ou par turbo-pompes comme dans un propulseur à propergol liquide. L'arrêt de la poussée et sa reprise ainsi que sa modulation s'obtiennent simplement en agissant sur l'alimentation en oxydant.

Le combustible solide peut être un simple mélange de plastique polymérisé additionné d'aluminium pulvérulent ou encore un hydrure de métal léger. Les carburants liquides à l'étude sont l'oxygène, le perhydrol, le fluor, la tétrafluorohydrazine, le trifluorure de bore, qui donnent des impulsions spécifiques élevées, de 350 à 400 secondes.

En plus des applications classiques, les multiples possibilités des hybrides ont conduit à les envisager pour des emplois nouveaux tels que systèmes de propulsion autonomes pour astronautes, pilotage de sa-

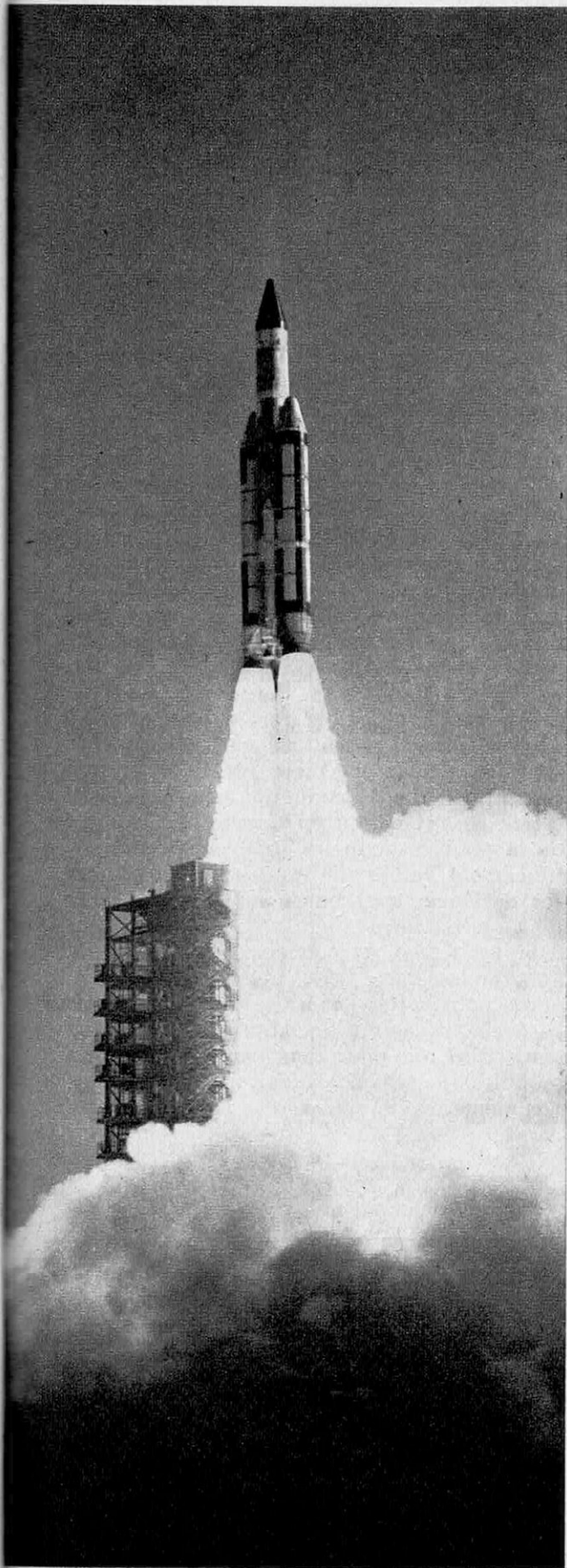
tellites, propulsion de véhicules d'exploration lunaire, sources de plasma pour générateurs électriques, etc.

LA PROPULSION NUCLÉAIRE

En matière de moteurs-fusées, l'amélioration des performances dépend essentiellement de l'obtention de vitesses d'éjection élevées et donc de la réalisation de systèmes propulsifs donnant une grande énergie spécifique. De ce point de vue, la fusée nucléaire a un avantage théorique fondamental sur les fusées faisant appel à des réactions chimiques. Son principe est des plus simples : un gaz traverse un réacteur nucléaire qui le porte à haute température et il est éjecté à grande vitesse par une tuyère. Ainsi, alors que dans une fusée classique, la matière propulsive est fournie par la source d'énergie elle-même, dans une fusée nucléaire, la matière propulsive est indépendante de la source d'énergie et on est donc libre de son choix.

Ce point est d'une grande importance, car les gaz éjectés obéissent à une loi fondamentale qui veut que leur vitesse soit proportionnelle à la racine carrée de leur température et inversement proportionnelle à la racine carrée de leur masse moléculaire. Or, dans une fusée chimique, les réactions qui fournissent le plus d'énergie et qui, par conséquent, engendrent les températures les plus élevées, sont aussi celles qui livrent dans l'échappement des molécules relativement lourdes, comme l'eau et le gaz carbonique ; on ne peut guère espérer dépasser ainsi 4 km/s. Dans une fusée nucléaire, la température du gaz est du même ordre de grandeur que dans la fusée chimique, mais on peut choisir le gaz de masse moléculaire minimum, c'est-à-dire l'hydrogène, de masse 2. La vitesse d'échappement est doublée et atteint 8 km/s, et l'impulsion spécifique devient de l'ordre de 800 secondes.

Pour de nombreuses raisons, et avant tout des raisons de sécurité, il est tout à fait



improbable que l'on utilise jamais des propulseurs nucléaires pour le premier étage d'un lanceur spatial. Mais la valeur élevée de leur impulsion spécifique les rend très séduisants pour les étages supérieurs, encore qu'ils ne présentent pas que des avantages. Leur poids est assez grand, car le réacteur nucléaire et ses blindages sont lourds. La faible densité de l'hydrogène oblige à prévoir des réservoirs de stockage de grandes dimensions, même lorsqu'il est conservé à l'état liquide pour n'être vaporisé qu'au moment de parvenir au réacteur. Il faut également des turbo-pompes de grand débit pour l'alimentation du réacteur. Remarquons à ce propos que les variations de poussée peuvent être obtenues de deux manières : soit à débit constant en agissant sur les réglages du réacteur pour modifier sa température et donc l'impulsion spécifique de l'hydrogène éjecté ; soit à débit variable, à température constante du réacteur, ce qui évite les contraintes thermiques dans le cœur de ce dernier.

Une des particularités des propulseurs nucléaires est que la réserve d'énergie pratiquement inépuisable de leur réacteur n'est pas aussi avantageuse qu'on pourrait l'imaginer. Cette énergie n'est utile que lorsqu'il y a de la matière à éjecter et ne peut servir à rien quand cette matière est épuisée. Il n'est pas sûr qu'il soit économiquement justifiable d'envisager un ravitaillement en propulsif à une date ultérieure, qui peut être lointaine, pour réutiliser le même réacteur. En effet, après l'arrêt d'un réacteur, les produits de fission radioactifs continuent à se désintégrer en dégageant de l'énergie et il faut poursuivre le refroidissement du réacteur pour éviter son échauffement exagéré. La consommation de gaz de refroidissement est loin d'être négligeable, et on a pu montrer qu'il est encore préférable d'abandonner le réacteur dans l'espace après usage.

Il se pose également des problèmes de protection contre les rayonnements divers, neutrons échappés du réacteur, rayons gamma des produits de fission radioactifs, rayons gamma secondaires issus des blindages arrêtant les rayonnements primaires. Cela entraîne de graves servitudes en poids, même si la fusée n'emporte pas d'équipage humain, car les radiations peuvent endommager les montages électroniques miniaturisés, en particulier les transistors et diodes, du

Dérivée de la Titan III A à propergol liquide uniquement, la Titan III C est actuellement le lanceur le

plus puissant disponible aux États-Unis, ses propulseurs auxiliaires à poudre développant chacun 545 tonnes.

système de guidage et de télécommunication et dérégler les appareils de mesures scientifiques. Le volumineux réservoir d'hydrogène liquide pourra conférer une protection efficace en formant écran entre le réacteur nucléaire à l'arrière du véhicule et la capsule à l'avant avec les astronautes. Les semi-conducteurs devront être éloignés du réacteur et, lorsque cela est possible, remplacés par des tubes à vide qui sont insensibles aux rayonnements.

La mise au point de propulseurs nucléaires a été poussée assez loin, aux Etats-Unis, dans le cadre du programme Rover, poursuivi conjointement par la NASA et l'Atomic Energy Commission, pour que des réacteurs expérimentaux aient pu fonctionner à pleine puissance pendant près de 15 minutes. La deuxième phase du programme doit comporter la réalisation d'un moteur-fusée utilisable en vol et baptisé Nerva. La phase finale, R.I.F.T. (*Reactor In Flight Test*) devait consister en l'essai de ce moteur en vol. On a renoncé, et semble-t-il définitivement, à cette dernière opération.

Ces essais ont fourni de précieux enseignements, en particulier sur le comportement des matériaux de structure du réacteur aux hautes températures. Le maximum actuellement admissible avec le graphite semble être de l'ordre de $2\,500^{\circ}\text{C}$ pour le flux gazeux, ce qui correspond à une impulsion spécifique de quelque 850 secondes. Des températures supérieures pourraient être obtenues avec des carbures de hafnium, de tantale ou de zirconium, ces derniers étant probablement les plus intéressants car le zirconium absorbe peu les neutrons. Il est douteux cependant qu'on puisse dépasser les $3\,000^{\circ}\text{C}$ et donc les 1 000 secondes d'impulsion spécifique. Pour aller au delà, il faudrait renoncer à la constitution classique des réacteurs avec des éléments sous gaine transférant leur chaleur au flux gazeux qui traverse le cœur. On a proposé en particulier des réacteurs à cœur gazeux où les produits de fission chaufferaient directement le gaz à éjecter, mais le principal problème est d'empêcher ce gaz d'emporter avec lui le matériau fissile ; plusieurs procédés ingénieux, centrifuges ou autres, sont en discussion et le moins qu'on puisse dire est que le problème est loin d'être résolu.

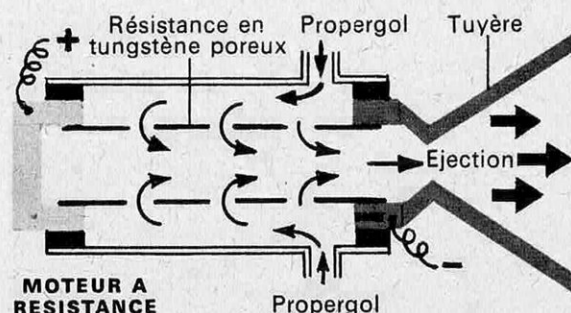
Un procédé encore moins conventionnel d'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins propulsives serait d'utiliser des bombes atomiques dont on provoquerait les explosions successives à l'arrière d'un véhicule spatial, les impulsions étant absorbées par un dispositif convenable et accélérant ainsi l'ensemble jusqu'à la vitesse désirée. L'interdiction

des explosions nucléaires dans l'espace rend impossible l'expérimentation de ce principe, qui fut étudié sérieusement sous le nom de « *Projet Orion* », maintenant abandonné.

LA PROPULSION ÉLECTRIQUE

L'intérêt essentiel des systèmes de propulsion électrique réside dans les vitesses considérables qu'ils peuvent imprimer à la matière à éjecter. Les impulsions spécifiques très élevées qu'ils fournissent, dépassant dans certains cas 25 000 secondes, permettent une économie extrême de propulsif, mais exigent en contre-partie une installation très lourde. Les propulseurs proprement dits ne peuvent en effet être dissociés de leur source d'énergie laquelle, devant délivrer cette énergie sous forme électrique, est soumise à des servitudes de conversion de puissance thermique en puissance électrique, avec le problème, difficile à résoudre dans l'espace, de l'évacuation de la fraction de cette puissance qui n'est pas convertie, toujours très importante dans une machine thermique. L'ensemble forme un complexe nécessairement pesant et encombrant, faisant corps avec la fusée, et l'accélération susceptible d'être communiquée à celle-ci est nécessairement très réduite. Le rapport de la poussée au poids total est parfois extrêmement faible ; il ne permet en aucun cas de lancer une charge sur orbite à partir du sol terrestre.

Si les fusées à réactions chimiques sont imbattables dans l'état actuel de la technique pour cette opération fondamentale de l'astronautique, on a compris depuis longtemps quel rôle pourraient jouer des systèmes propulsifs capables de développer une poussée, même très faible, exercée pendant des se-



L'échauffement d'un gaz au contact d'une résistance électrique pourrait donner des

impulsions spécifiques bien supérieures à celles fournies par des réactions chimiques.

maines, des mois, voire des années, sur un véhicule préalablement satellisé, en vue de missions de longue durée, vers les planètes lointaines, par exemple.

On peut classer les propulseurs électriques en trois grandes catégories : les propulseurs électrothermiques, les propulseurs ioniques et les propulseurs électromagnétiques ou à plasma. Ces systèmes ont fait l'objet d'un effort considérable de recherche aux Etats-Unis et en Europe et les deux premiers en particulier sont parvenus à un degré de perfection, d'endurance et de compacité qui pourrait les qualifier dès à présent pour la propulsion spatiale, n'était le manque de source d'énergie appropriée à leur fonctionnement.

LES PROPULSEURS ELECTROTHERMIQUES

Un propulseur électrothermique est en quelque sorte intermédiaire entre un propulseur thermique et un propulseur électrique. Un gaz léger, hydrogène par exemple, est chauffé électriquement et porté à une température élevée, supérieure à celle que peut donner un propergol chimique, pour être éjecté par une tuyère. Les impulsions spécifiques obtenues vont de 700 à 2 000 secondes.

Dans un moteur électrothermique à résistance (*resisto-jet*), le chauffage du gaz est obtenu par passage soit à travers un tube, soit sur un serpentin, soit à travers des grilles de tungstène chauffées électriquement par effet Joule. La conversion de puissance électrique en puissance thermique se fait avec un rendement de 90 % à la température maximale d'utilisation du tungstène, proche de 3 000° K. L'impulsion spécifique est voisine de 1 000 secondes.

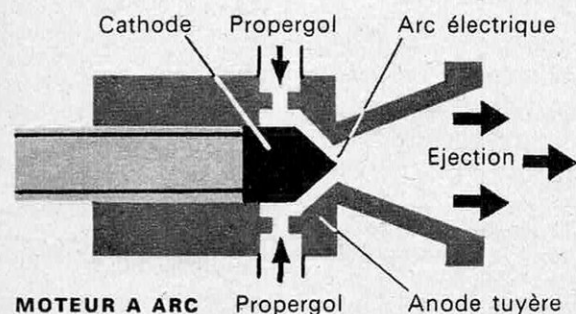
Dans un moteur électrothermique à arc (*arc-jet*), le chauffage est obtenu par passa-

ge du gaz à travers un arc électrique qui jaillit entre deux électrodes, l'anode constituant la tuyère d'éjection. Moyennant certains artifices, on atteint des températures très supérieures à celles que pourraient supporter les parois les plus réfractaires. Dans la configuration dite à constriction d'arc, un col allongé canalise l'arc depuis la pointe cathodique jusqu'à la tuyère. On a obtenu expérimentalement avec de l'hydrogène des impulsions spécifiques de l'ordre de 2 000 secondes et on estime possible de parvenir à 2 500. En fait, des pertes d'énergie limitent la température : rayonnement de l'arc, capture d'électrons par l'anode réduisant la chute de potentiel, et surtout dissociation de l'hydrogène moléculaire en hydrogène atomique, la recombinaison ne se faisant qu'après éjection. En consentant des sacrifices sur l'impulsion spécifique, on peut remplacer l'hydrogène par des propulsifs beaucoup plus denses, comme l'ammoniac et même l'eau. Du fait des hautes températures, l'ammoniac est dissocié en hydrogène et azote et l'eau en hydrogène et oxygène ou radicaux oxyhydriles ; la masse moléculaire moyenne est ramenée à 6 ou 7 au lieu de 17 pour l'ammoniac et 18 pour l'eau. Avec des systèmes à constriction d'arc, le choix du propulsif pour limiter les pertes par dissociation et ionisation peut même conduire à remplacer l'hydrogène par l'hélium ou le lithium, corps monoatomiques, et on a largement dépassé ainsi expérimentalement les 1 000 secondes d'impulsion spécifique avec toutefois un rendement énergétique global sensiblement moins favorable.

D'une manière générale, l'érosion du col de la tuyère et l'usure des électrodes limitent la durée possible de fonctionnement de ces propulseurs.

LA PROPULSION IONIQUE

Les véritables propulseurs électriques sont ceux où le propulsif n'est plus accéléré par détente après avoir été porté à haute température, mais directement au moyen de champs électrostatiques ou électromagnétiques. Ces champs ne peuvent évidemment agir que sur des particules chargées. Les impulsions spécifiques, toujours définies par le rapport de la poussée à la masse de propulsif éjecté par unité de temps, ne font plus intervenir de température ni de masse moléculaire, mais restent déterminées par les vitesses d'éjection. Celles-ci peuvent atteindre des valeurs si élevées par accélération de particules chargées que les impulsions spécifiques se chiffrent par plusieurs milliers et même plusieurs dizaines de milliers de secondes.



Le moteur électrothermique à arc utilise la tuyère d'éjection du propulsif comme ano-

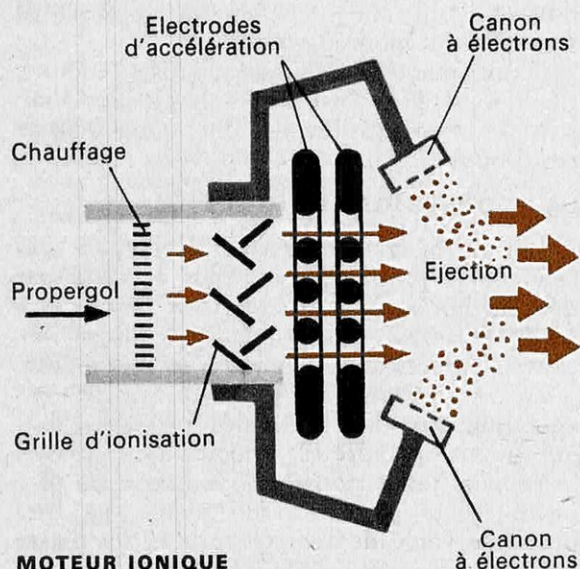
de. On peut ainsi atteindre des impulsions spécifiques de 2 000 à 2 500 secondes.

Un propulseur ionique comporte trois organes principaux : le générateur d'ions, l'accélérateur électrostatique et le « neutraliseur ».

La préparation des ions s'obtient couramment par contact d'éléments métalliques à faible potentiel d'ionisation, tels que le césium, sur un métal, en général du tungstène, à haute température, ou par bombardement d'une vapeur métallique, vapeur de mercure le plus souvent, par un faisceau d'électrons.

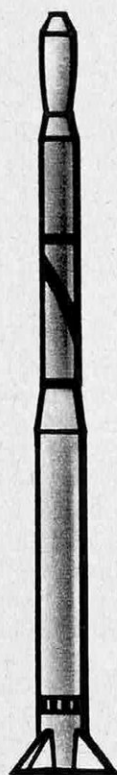
Un champ électrostatique de quelques milliers de volts appliqué à une grille maintenue à un potentiel négatif accélère ces ions positifs qui traversent la grille à grande vitesse. Le faisceau étant ainsi positivement chargé, le propulseur se charge négativement et a ainsi tendance à rappeler vers lui les ions qu'il a émis, réduisant puis annulant l'effet propulsif. C'est ici qu'intervient le « neutraliseur » dont la fonction est d'injecter dans le faisceau un courant d'électrons négatifs d'intensité égale à celle du courant ionique positif. Des essais en vol de propulseurs ioniques (programme SERT : *Space Electric Rocket Test*) ont vérifié dans le quasi-vide de la très haute atmosphère l'efficacité de ce procédé sur laquelle l'expérimentation au sol laissait planer un doute.

Les propulseurs ioniques, qui ont fait l'objet de très gros efforts de développement aux Etats-Unis, constituent actuellement les systèmes de propulsion électrique les plus élaborés. Les recherches se poursuivent dans



Des propulseurs ioniques ont été déjà expérimentés à bord d'engins spatiaux. Leur constitution est

assez complexe et doit en particulier prévenir la recapture des ions positifs au niveau de la tuyère d'éjection.



SCOUT



ATLAS AGENA

SCOUT
(Ling-Temco-Vought)
Longueur 22 m
Poids au lancement : 17 tonnes.

Premier étage :
fusée à poudre Algol (Aerojet General) de 52 tonnes de poussée.

Deuxième étage :
fusée à poudre Castor (Hercules) de 30 tonnes.

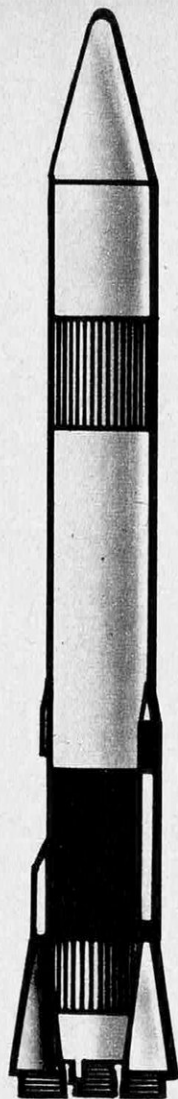
Troisième étage :
fusée à poudre Antares (Allegany Ballistics Lab.) de 10,5 tonnes.

Quatrième étage :
fusée à poudre Altair (Allegany Ballistics Lab.) de 1 360 kg ou

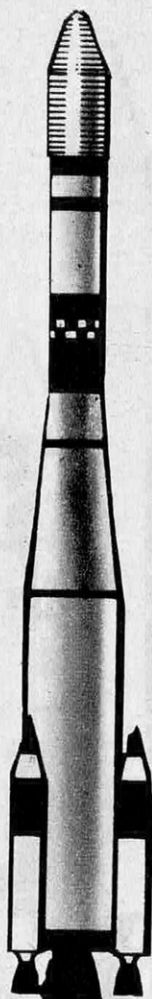
FW-48 (United Technology Center) de 2 720 kg.

Le lanceur Scout est utilisé pour la satellisation d'engins de masse relativement faible, et a servi en particulier pour les programmes nationaux anglais (UK-2), italiens (San Marco), français (FR-1).

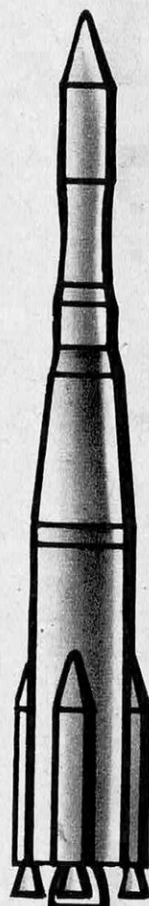
ATLAS
(General Dynamics)
Longueur 30 m
Poids au lancement : 120 tonnes.
Propulseurs : 2 moteurs-fusées auxiliaires de 75 tonnes de poussée, 1 moteur principal de 26 tonnes, 2



ATLAS CENTAUR



THOR



DELTA AMÉLIORÉ

moteurs vernier de 300 kg. Propergol : RP-1 et oxygène liquide. Poussée totale : 176,6 tonnes.

Lanceur standardisé du programme spatial américain (Air Force et N.A.S.A.). A servi au lancement des Ranger, Mariner, Lunar Orbiter, Surveyor, Orbiting Astronomical Observatory, S.N.A.P.-10, etc. Utilisé en particulier avec les étages Agena (Lockheed, moteur-fusée Bell Aerospace de 7 265 kg de poussée, à combustibles stockables U.D.M.H. et I.R.F.N.A., réallumable en vol) et Centaur (General Dy-

namics, deux moteurs-fusées Pratt et Whitney R.L. 10 de 6 810 kg de poussée chacun, à hydrogène et oxygène liquides).

THOR (Douglas)

Lanceur utilisé comme premier étage en combinaison avec un second étage Agena (voir plus haut) ou Ablestar (Space General Corp., moteur-fusée Aerojet General de 3 580 kg de poussée, à U.D.M.H. et I.R.F.N.A., réallumable en vol). Le lanceur Delta utilise aussi un Thor modifié comme premier étage. Système de propulsion Rocketdyne MB-3

avec 1 moteur-fusée de 78 tonnes de poussée. Propergol : RP-1 et oxygène liquide.

T.A.T. (Thrust Augmented Thor) ou Thor à poussée accrue). Poussée au lancement augmentée par adjonction de trois fusées à poudre Thiokol de 25 tonnes de poussée.

Long-Tank Thor :

Version allongée du précédent à performances améliorées, la longueur de la combinaison Thor-Agena D passant de 25,18 m à 30,50 m et le poids au lancement de 56 tonnes à 90 tonnes.

DELTA (Douglas)
Longueur 28 m
Poids 63,5 tonnes.

Premier étage :

système de propulsion Rocketdyne MB-3 avec 1 moteur fusée de 78 tonnes de poussée. Propergol : RP-1 et oxygène liquide.

Deuxième étage :

1 moteur-fusée Aerojet General AJ-10 de 3 400 kg de poussée. Propergol U.D.M.H. et I.R.F.N.A.

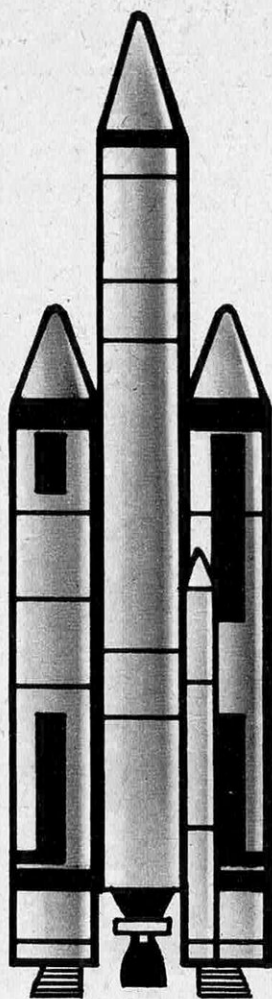
Troisième étage :

fusée à poudre de 2 610 kg de poussée.

T.A. Delta (Thrust Augmented Delta)



TITAN III A



TITAN III C



SATURN I

ou Delta à poussée accrue) : Poussée au lancement augmentée par adjonction de trois fusées à poudre Thiokol développant 25 tonnes chacune.

Delta amélioré :

Performances améliorées, essentiellement par augmentation du volume au 2^e étage dont le diamètre est porté à 1,43 m contre 0,92 m, triplant pratiquement la durée de combustion permise. Les lanceurs Delta ont à leur actif les satellites Tiros, Explorer, Orbiting Solar Observatory, I.M.P., Syncom, etc.

TITAN II (Martin)

Lanceur du programme Gemini. Longueur (avec capsule Gemini) 33,22 m. Poids au lancement : 136 tonnes.

Premier étage :

1 moteur-fusée à deux chambres Aerojet General de 195 tonnes de poussée. Propergol U.D.M.H. et peroxyde d'azote.

Deuxième étage :

1 moteur-fusée Aerojet General de 45,5 tonnes de poussée. Propergol : U.D.M.H. et peroxyde d'azote.

TITAN III (Martin)

Lanceur standardisé de satellites militaires comportant, dans la version Titan III A (longueur 38 m), deux étages à propulseurs Aerojet General à propergol stockable semblables à ceux de Titan II et un troisième étage Transstage à propulseur Aerojet General à propergol stockable hypergolique (poussée 7 260 kg) permettant des réallumages multiples pour changement d'orbite. Dans la version Titan III C, il comporte deux propulseurs auxiliaires largables à

poudre (United Technology Center) à cinq segments, les plus puissants qui aient jamais été lancés, de 3 m de diamètre et développant 545 tonnes de poussée chacun.

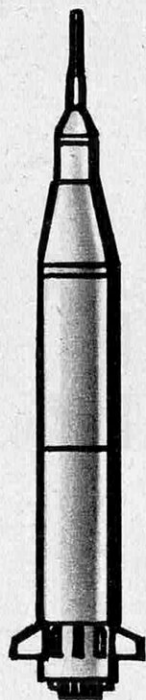
SATURN I

1^{er} étage :

S-I (Chrysler)
8 moteurs Rocketdyne H-1 de 85 tonnes de poussée. Propergol RP-1 et oxygène liquide. Poussée totale : 680 tonnes.

2^e étage :

S-IV (Douglas)
6 moteurs Pratt et Whitney RL 10 de



UPRATED SATURN I

6,8 tonnes de poussée.
Propergol : hydrogène liquide et oxygène liquide. Poussée totale : 40,8 tonnes.

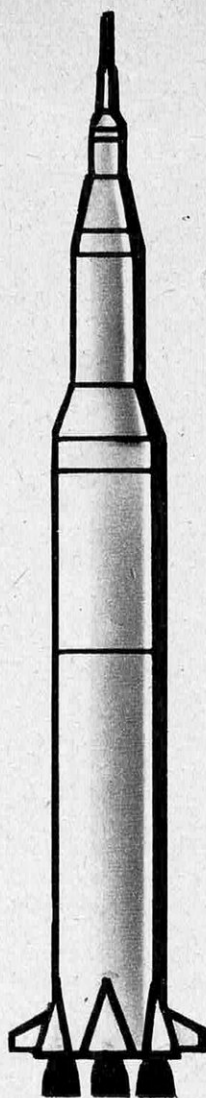
UPRATED SATURN I

1^{er} étage :

S-I B (Chrysler)
8 moteurs Rocketdyne H-1 de 90,8 tonnes de poussée. Propergol : RP-1 et oxygène liquide. Poussée totale : 726,4 tonnes.

2^e étage :

S-IV B (Douglas)
1 moteur Rocketdyne J-2. Propergol : hydrogène liquide et oxygène liquide. Poussée : 90,8 tonnes.



SATURN V

SATURN V

1^{er} étage :

S-IC (Boeing)
5 moteurs Rocketdyne F-1 de 681 tonnes de poussée. Propergol : kérosène et oxygène liquide. Poussée totale : 3 405 tonnes.

2^e étage :

S-II (North American)
5 moteurs Rocketdyne J-2 de 90,8 tonnes de poussée. Propergol : hydrogène liquide et oxygène liquide. Poussée totale : 454 tonnes.

3^e étage :

S-IV B (Douglas)
1 moteur Rocketdyne J-2. Poussée : 90,8 tonnes.

des voies diverses, dont, en particulier, l'emploi de particules plus lourdes que les ions métalliques, de nature organique ou colloïdale, qui permettrait d'accroître, à vitesse donnée, le rapport de l'énergie cinétique à l'énergie nécessaire pour l'ionisation, donc le rendement.

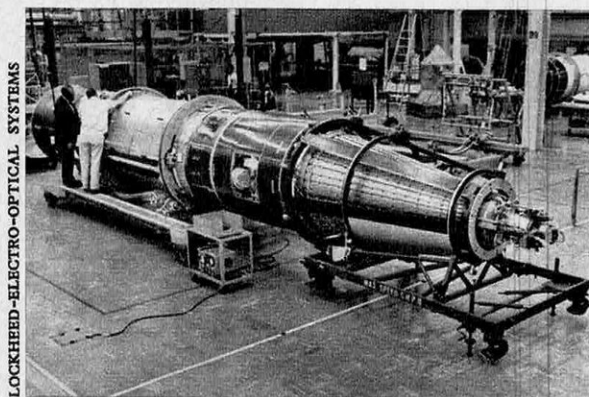
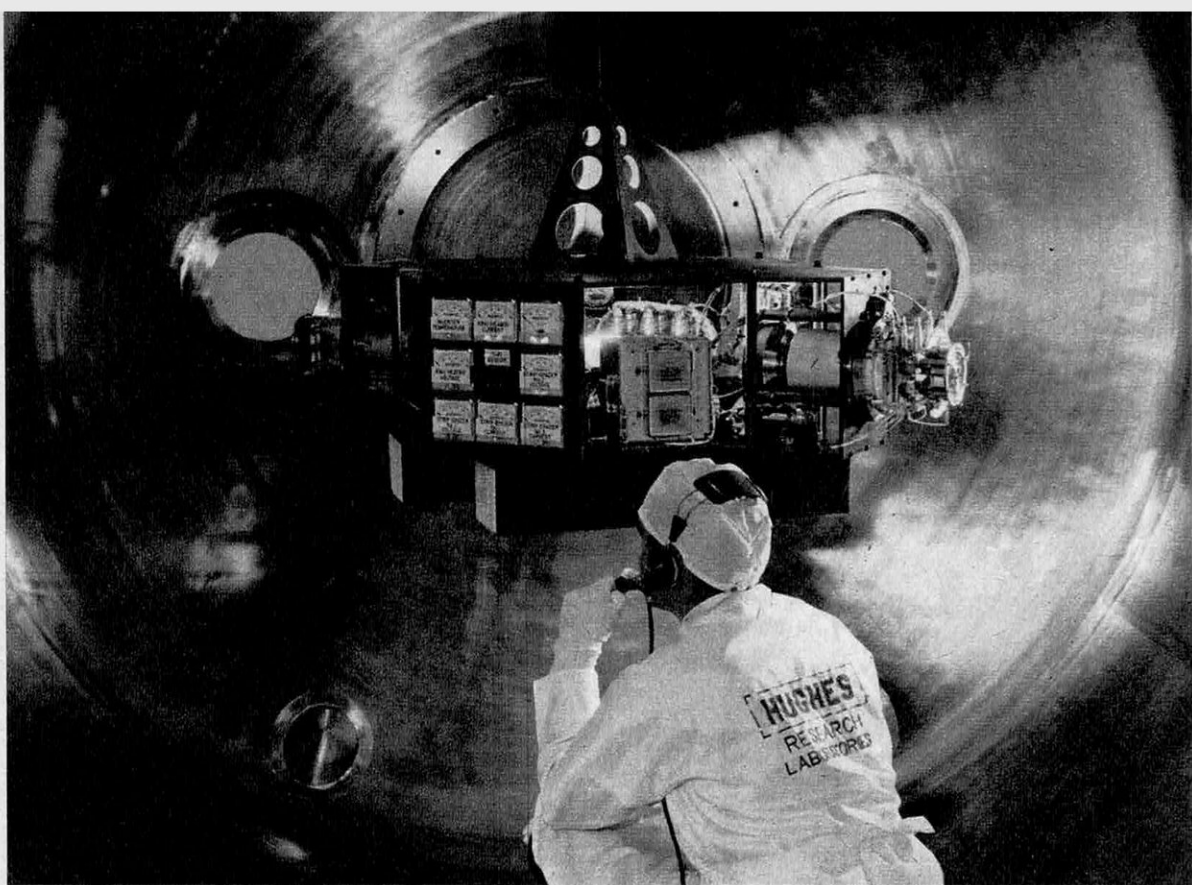
LA PROPULSION ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Ces systèmes de propulsion s'inspirent des principes de la magnétohydrodynamique (M.H.D.) qui sont une transposition dans le domaine des plasmas de ceux des moteurs électriques usuels.

Sur un conducteur parcouru par un courant électrique et placé dans un champ magnétique s'exerce une force perpendiculaire à la fois à la direction du courant et à celle du champ magnétique : le conducteur est ainsi entraîné suivant cette force. Or un plasma est un mélange gazeux dans des conditions telles, par exemple à très haute température, qu'il y existe à la fois des ions chargés positivement et des électrons, c'est-à-dire des charges négatives, en nombre égal, de sorte que l'ensemble est électriquement neutre ; il est conducteur de l'électricité du fait qu'il contient des particules chargées. En le faisant traverser par un courant et en lui appliquant un champ magnétique à angle droit, toutes les particules du plasma sont entraînées dans la même direction quel que soit le signe de leur charge. C'est l'expulsion de ces particules ainsi accélérées qui, dans un propulseur, engendre la poussée. On pense qu'il serait ainsi possible d'obtenir des impulsions spécifiques de l'ordre de 25 000.

Actuellement, la propulsion électromagnétique n'a pas dépassé le stade des études, appuyées par peu de données expérimentales, car la physique des plasmas est encore mal connue. Par analogie avec les moteurs électriques, on a proposé des propulseurs type « série » où le courant (produit par décharge d'un condensateur) produit le champ dont l'action sur la portion de ce même courant qui traverse le plasma accélère ce dernier ; des propulseurs type « parallèle » (shunt) où deux alimentations distinctes créent le courant dans le plasma et le champ magnétique ; des propulseurs type « à induction » où un système de bobines crée un champ magnétique variable dans un conduit où se trouve le fluide de propulsion.

La plupart des dispositifs essayés au laboratoire, comme le canon à plasma, où le plasma et le champ accélérateur sont produits simultanément, sont des appareils à impulsions en succession rapide, mais d'autres systèmes électromagnétiques à fonction-



LOCKHEED-ELECTRO-OPTICAL SYSTEMS

Le SNAP-10A, le premier réacteur nucléaire qui fut mis sur orbite en avril 1965, est installé à l'extrémité du véhicule Agena. Le cœur est formé de barreaux d'un mélange homogène d'uranium très enrichi et d'hydrure de zirconium lequel joue le rôle de modérateur. Une chemise de béryllium sert de réflecteur de neutrons et assure le contrôle de la réaction en chaîne. La chaleur dégagée est transmise par un mélange de sodium et de potassium

liquides à un convertisseur thermoélectrique constitué par 72 thermocouples au germanium et au silicium répartis autour de la partie tronconique dont la paroi extérieure sert de radiateur. La puissance était de l'ordre de 500 watts. On aperçoit, dans l'ouverture ménagée sur le flanc du véhicule Agena, le système de propulsion ionique alimenté par ce générateur et qui développa une poussée voisine de 1 gramme après avoir été mis sur orbite.

La rentabilité des satellites synchrones de télécommunications dépend du maintien des paramètres initiaux de l'orbite pour de très longues durées. Les

futurs satellites synchrones pourraient ainsi recevoir des propulseurs ioniques tels que celui-ci, photographié en chambre à vide en cours d'essai.

nement continu ont été proposés. Le plus prometteur semble être l'accélérateur à ondes progressives où des bobines polyphasées alimentées en haute fréquence créent un champ magnétique glissant et induisent elles-mêmes dans le plasma les courants sur lesquels s'exercent les forces qui l'entraînent dans le sens du déplacement du champ. On obtiendrait de très grandes vitesses, mais avec la servitude de telles puissances d'alimentation que les applications à la propulsion sont encore lointaines.

On retrouve là le principal obstacle auquel se heurte la mise en œuvre des systèmes de propulsion électrique, c'est-à-dire l'absence de source d'énergie qui n'impose pas de poids prohibitif. C'est la réalisation de tels générateurs de puissance électrique dans la gamme des centaines ou des milliers de kilowatts qui permettra seule de créer les véhicules lourds aptes aux missions spatiales lointaines, pour lesquelles la propulsion chimique apparaît d'ores et déjà presque à la limite de ses possibilités.

Paul HIRSAC

SATELLITES ET SONDES SCIENTIFIQUES

Après avoir accumulé un certain nombre de connaissances sur la Terre et ses environs immédiats, l'homme a tout naturellement cherché à découvrir l'espace plus lointain qui entoure sa planète.

Dès 1900, à partir de ballons puis, au lendemain de la Deuxième guerre mondiale, à l'aide de fusées-sondes, l'exploration de la haute atmosphère prenait forme. Peu à peu le chercheur passait de l'observation à l'expérimentation et centrait ses recherches sur les points suivants :

- analyse des transferts d'énergie entre le Soleil et la Terre ;

- observations en vue d'élaborer et de vérifier les théories sur les origines et le

comportement général du système solaire ;
— recherches sur les origines et la répartition de la vie à travers l'univers.

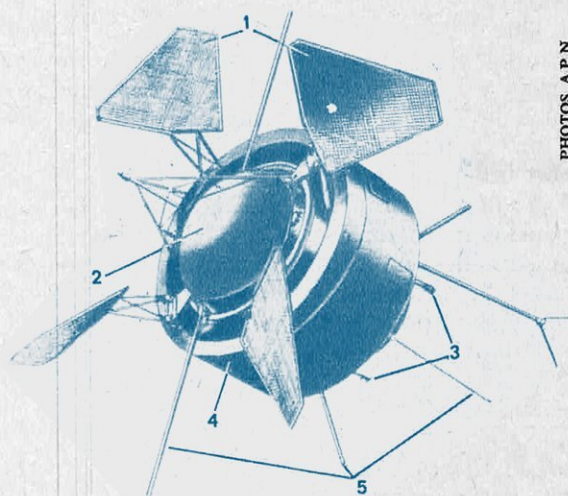
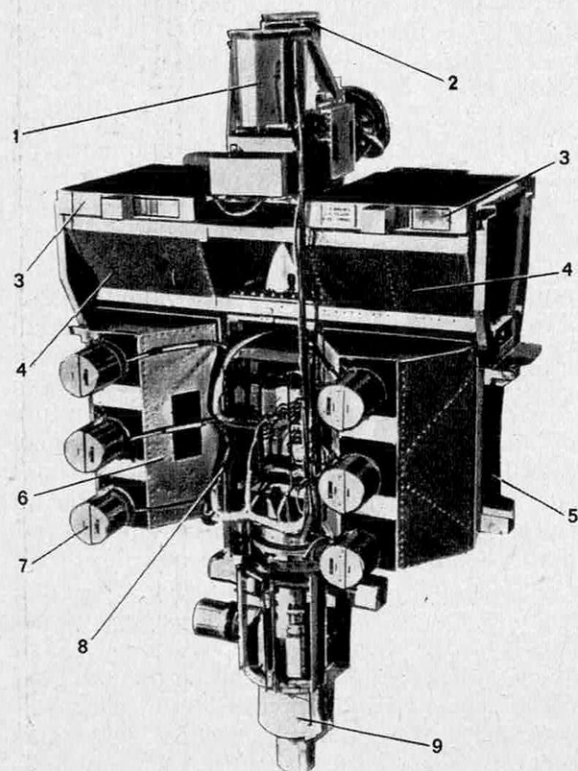
Pour mener à bien ce programme, l'évolution de la technique a fourni au chercheur, à partir de 1958, deux outils révolutionnaires :

- le satellite, c'est-à-dire un véhicule qui, restant soumis à l'attraction de la Terre, va tourner autour d'elle sans jamais s'en éloigner beaucoup ;

- la sonde spatiale, véhicule échappant à l'attraction terrestre et qui gravite autour du Soleil.

Pour faire une étude complète des missions scientifiques des satellites et des sondes spatiales, il faudrait prendre chaque véhicule un à un et analyser toutes les informations qu'il a pu transmettre aux stations terrestres. Dans le cadre de cet article, nous nous efforcerons de dégager les grandes familles de connaissances acquises grâce aux instruments emportés tant par les satellites que par les sondes lunaires et interplanétaires qui ont fourni une ample moisson de résultats spectaculaires.

L'ensemble des recherches effectuées vise à acquérir ou à parfaire les connaissances dans les domaines suivants : la haute atmosphère, l'ionosphère, les champs magnétiques et électriques, les ceintures de radiations, les rayons cosmiques, la géodésie, le Soleil et les étoiles, la biologie.



PHOTOS A P N

Ci-contre, l'appareillage scientifique du satellite Proton 1 : 1 - Spectromètre. 2 - Téléspectromètre à rayons gamma. 3 à 8 - Calorimètre à ionisation. 9 - Spectromètre pour électrons de haute énergie.

Ci-dessus, configuration de Proton 1. 1 - Cellules solaires. 2 - Caisson hermétique. 3 - Capteurs du système d'orientation. 4 - Enveloppe extérieure. 5 - Antennes télémétrie et télécommande.

Bien entendu, chacune de ces voies de recherche regroupe des travaux pouvant être effectués dans des domaines différents. Ainsi dans un programme d'étude géodésique, l'exploration de l'ionosphère pourra consister à étudier des distributions d'électrons, des interactions de champs magnétiques, la propagation d'ondes radioélectriques, etc.

Pour la commodité de l'analyse, nous utiliserons la classification adoptée par J.-L. Lavallard, pour qui il existe trois catégories de satellites :

— Les satellites destinés aux mesures d'ambiance. Appartiennent à cette classe tous les satellites emportant différents équipements (spectrographes, compteurs, etc.) destinés à effectuer des mesures sur la composition ionique et moléculaire de l'atmosphère, sur le flux des particules des ceintures naturelles ou artificielles de radiations entourant la Terre.

— Les satellites d'observation, comme ceux des programmes O.S.O. (*Orbiting Solar Observatory*), O.A.O. (*Orbiting Astronomical Observatory*), qui doivent fournir des renseignements sur le Soleil et les étoiles. Nous pouvons également y rattacher les satellites O.G.O. (*Orbiting Geophysical Observatory*) destinés uniquement à des observations géophysiques.

— Les satellites d'expérimentation scientifique, qui permettent de modifier l'état de l'espace entourant le satellite, celui-ci transmettant toutes les informations qui en découlent.

Quant aux sondes, elles peuvent être groupées en sondes destinées à l'étude de l'espace interplanétaire dans le système solaire et en sondes destinées à l'étude des planètes elles-mêmes, c'est-à-dire lancées vers une planète déterminée.

Toutes les sondes lancées jusqu'à présent pourraient se ranger dans la première classe puisqu'elles emportaient des appareils destinés à la mesure des diverses particules rencontrées ; pour certaines, cependant, ces fonctions n'étaient que secondaires, et l'accent était mis sur l'étude des planètes visitées, Mars et Vénus.

SATELLITES POUR MESURES D'AMBIANCE

Les tout premiers satellites appartenaient naturellement à cette classe puisque, avant de s'éloigner de la planète et de lancer un homme dans l'espace, il était nécessaire de définir les problèmes que l'on aurait à résoudre.

Du côté russe, les Spoutnik ont ouvert la voie et commencé une série de mesures sur

la densité des couches supérieures de l'atmosphère, les concentrations d'ions, le rayonnement cosmique, l'étendue et la densité des radiations dans l'exosphère et les radiations ultraviolettes émises par le Soleil.

Avec Cosmos I, en mars 1962, débutent les mesures sur l'ionosphère, les ceintures de radiations, le champ magnétique terrestre, les micrométéorites, etc.

Tout récemment, le professeur russe A. Lebedinsky apportait des précisions sur les missions des Cosmos XLV, LXV et XCII. Ces satellites comportent des instruments destinés à trois sortes d'expériences : étude des variations de la luminescence du ciel nocturne, obtention du spectre ultraviolet de la partie éclairée de la Terre, détermination du spectre d'émission thermique de la Terre.

D'après Lebedinsky, les premiers résultats font apparaître une énorme variation, selon le lieu, de la répartition de l'ozone dans l'atmosphère terrestre. De plus, il semble que dans les courants ascendants de l'atmosphère, la teneur en ozone soit plus faible que dans les courants descendants. Cette constatation pourrait permettre aux météorologistes de déterminer un facteur très important : la vitesse ascensionnelle de l'atmosphère.

Les satellites russes du type Electron sont mis sur orbite par paires par un lanceur unique. Les apogées atteints par les deux engins sont très différents : 7 000 km pour l'un, et près de 70 000 km pour l'autre. Ils permettent ainsi l'étude simultanée des zones inférieure et supérieure des ceintures de radiation de Van Allen. Deux telles paires ont été lancées en janvier et juillet 1964.

Quant au satellite Proton, placé sur orbite en juillet 1965, il constitue la première station spatiale spécialisée dans l'étude des particules très énergétiques du rayonnement cosmique.

Le 1^{er} février 1958, les Américains ont entamé, avec les Explorer, leur longue série d'expériences. Rappelons que c'est Explorer I qui, avec à son bord des instruments scientifiques réalisés par le physicien Van Allen, a permis de découvrir une ceinture de radiations entourant la Terre. Ce même satellite donnait également des informations sur la densité des micrométéorites. Par la suite, les Américains s'intéressèrent aux radiations ultraviolettes, aux noyaux lourds du rayonnement cosmique et au champ magnétique terrestre. Porteur de plusieurs dispositifs d'étude de météorites, Explorer XXIII, lancé en novembre 1964, a largement contribué au succès de la mission de Pegasus, mis sur orbite en février 1965. Les engins suivants, numérotés XXIV et XXV, apportèrent

rent une énorme quantité de renseignements sur les rapports complexes qui existent entre les radiations et la densité de l'air dans les couches supérieures de l'atmosphère, complétant ainsi les données acquises par leurs aînés, Explorer IX et XIX.

Explorer XVIII, appelé IMP-I (*Interplanetary Monitoring Platform*), détecta l'existence d'un front de choc dans le champ magnétique terrestre à quelque 90 000 km dans la direction du Soleil, provoqué par le « vent solaire ». Explorer XVIII et XXI, ainsi que O.G.O. I poursuivent l'étude des fluctuations du plasma du vent solaire au delà de ce front de choc.

Puis, chronologiquement, arrivent les Pioneer et les Discoverer ; rappelons que c'est avec Discoverer XIII que, pour la première fois, le 12 août 1960, une capsule a pu être récupérée.

Entrent enfin dans cette catégorie les satellites canadiens Alouette, spécialisés dans les études ionosphériques, et le satellite italien San Marco, dont la mission principale est la mesure directe de la densité atmosphérique résiduelle qui freine son mouvement sur orbite.

LES SATELLITES D'OBSERVATION

Prévu pour s'étendre sur cinq années, le programme O.S.O. (*Orbiting Solar Observatory*), commencé le 7 mars 1962 avec le lancement de O.S.O. I, doit permettre une étude précise du Soleil et de l'influence des phénomènes solaires. Ces satellites de caractéristiques voisines sont ou seront tous placés sur des orbites presque circulaires.

Voici, à titre d'exemple, l'équipement scientifique qu'emportait O.S.O. II, lancé en février 1965 (apogée 632 km, périégée 552 km) :

- un spectromètre à ultraviolet pour la gamme 300 à 1 400 angstroms, et un autre pour les gammes 900 à 2 000 et 1 800 à 3 800 angstroms ;

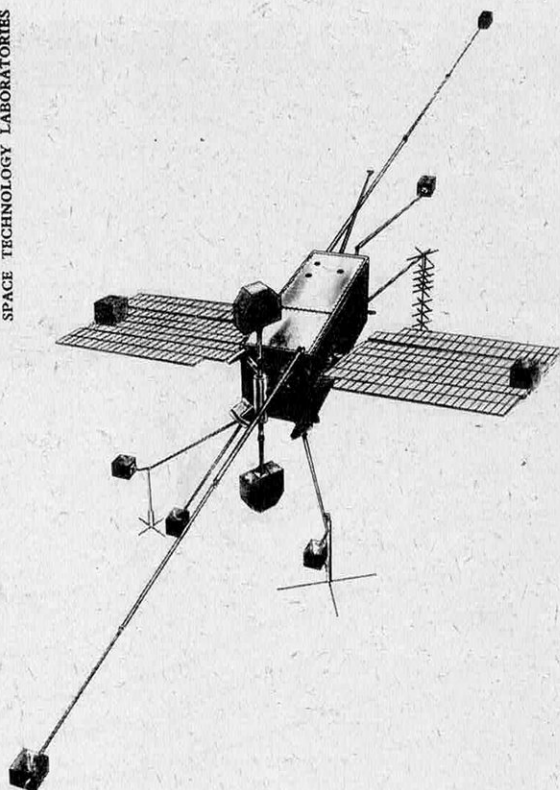
- un télescope à rayons X et ultraviolets constitué par un groupe de 7 compteurs pour mesurer les émissions solaires ;

- un coronographe pour lumière blanche destiné à mesurer l'intensité de la lumière du halo solaire lors d'éclipses artificielles provoquées par obturation contrôlée. Les chercheurs de la Physics and Astronomy Programs Division de la NASA pensent que les trajets des rayons du halo seraient liés à l'histoire du système solaire ;

- un télescope pour lumière zodiacale ;

- un télescope pour rayons gamma à haute énergie (50 à 1 000 MeV) destiné à mesurer les radiations cosmiques provenant

SPACE TECHNOLOGY LABORATORIES



Trois des satellites du programme O.G.O. d'étude de l'environne-

ment terrestre ont été placés sur orbite depuis septembre 1964.

sans doute de la nébuleuse du Crabe et de la galaxie M 87 ;

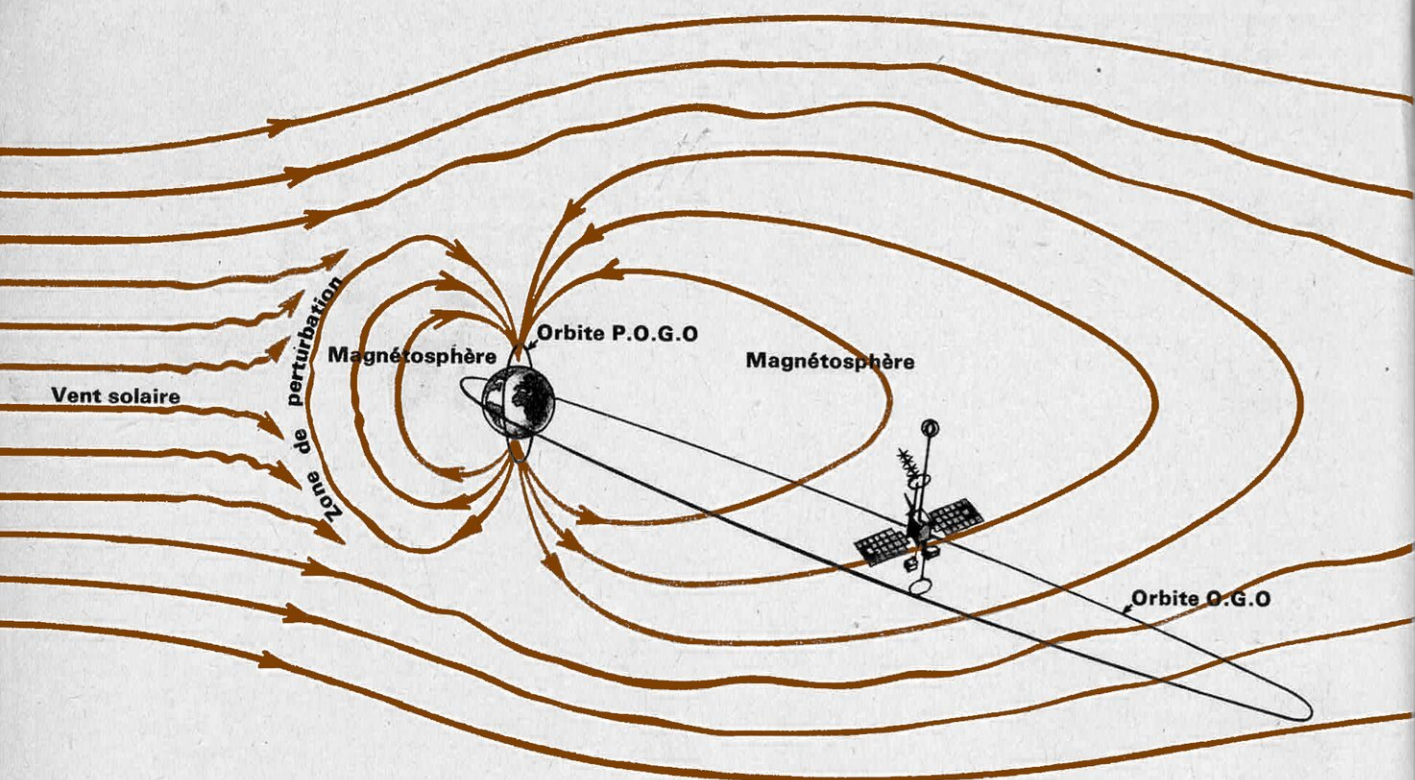
- un télescope pour rayons gamma à basse énergie ;

- des détecteurs d'émissivité afin d'enregistrer les effets d'une irradiation solaire prolongée sur différents revêtements. Ces études permirent la détermination des matériaux de la capsule Apollo.

Un satellite du programme A.O.S.O. (*Advanced Orbiting Solar Observatory*, ou O.S.O. perfectionné) doit être lancé à partir de 1969.

Les satellites sont également apparus comme pouvant apporter une aide considérable dans les deux domaines les plus importants de la géodésie : la détermination exacte de la forme de la Terre et la localisation précise des points de sa surface par rapport à un même repère.

Les premiers résultats furent obtenus par observation optique de satellites de la famille Echo et par des séries de relevés effectués au passage des satellites de radionavigation du type Transit. Mais ces véhicules, dont la mission principale n'était pas de permettre ces relevés, n'ont pas donné une précision suffisante. C'est pourquoi les Amé-



Les interactions entre le Soleil et l'environnement terrestre ont été étudiées par un grand nombre de sondes et de satellites. On sait maintenant que la magnétosphère terrestre est profondément modelée par des flux de particules d'origine solaire animées de très grandes vitesses (vent solaire); en même temps, la

trajectoire de ces particules est déviée par la magnétosphère. Au contact du vent solaire et de la magnétosphère se crée une véritable onde de choc. On a représenté ici les deux types d'orbites prévues pour les satellites du programme O.G.O. dont on attend maintes précisions supplémentaires sur ces phénomènes mal connus.

ricains lancèrent le projet ANNA (*Army, Navy, Nasa, Air-Force*) dont le premier satellite était placé sur orbite fin octobre 1962. Ce satellite, comme ceux qui le suivirent, emportait un phare à éclats permettant d'améliorer la précision des observations optiques; un répondeur cohérent améliorait la précision sur la mesure des distances Terre-satellite par élimination des perturbations dues à la réfraction atmosphérique; de plus, un ensemble émetteur à quatre fréquences obtenues à partir d'un oscillateur très stable permettait des mesures très précises d'effet Doppler.

Parallèlement l'Office d'exploration côtière et géodésique mettrait au point un vaste programme utilisant trois types de satellites:

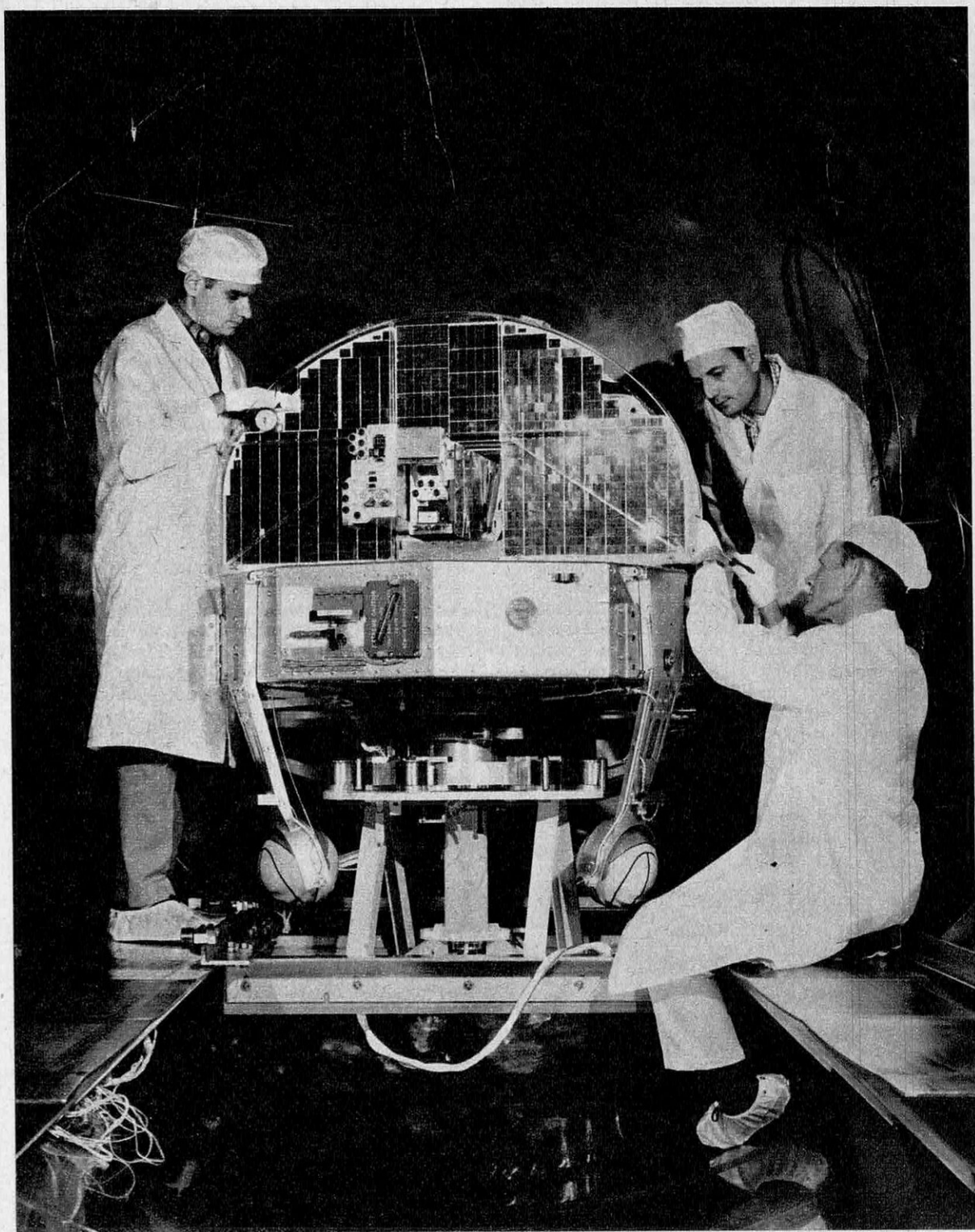
— des Explorer (à partir du numéro

XXII), destinés à évaluer les possibilités d'obtention de renseignements orbitaux et géodésiques par poursuite du satellite par rayons laser. Explorer XXVII effectuait des mesures de géodésie en utilisant deux radiobalises Doppler avec émetteur à ondes entretenues fonctionnant sur 162 et 324 MHz;

— des GEOS (*Geodetic Earth Orbiting Satellite*) de 180 kg portant quatre feux clinotants, trois radiobalises et plusieurs centaines de réflecteurs laser;

— des PAGEOS (*Passive GEOS*), ballons sphériques gonflables de 30 m de diamètre semblables à Echo II et destinés à être lancés sur des orbites quasi-polaires et circulaires vers 4 000 km d'altitude.

L'ensemble des programmes O.A.O. (*Orbiting Astronomical Observatory*) vise à approfondir nos connaissances sur les phénomènes astronomiques que l'atmosphère ne permet pas d'observer efficacement à partir du sol: rayonnements ultraviolets d'étoiles très chaudes visées par un télescope de 40 cm et quatre de 20 cm de diamètre associés à des spectromètres; rayons X et gamma en provenance de diverses sources galactiques repérées de manière très précise grâce au contrôle de l'orientation de l'engin à moins de 15 secondes d'arc près. O.A.O. I a été mis sur orbite en avril 1966, mais une panne du système d'alimentation a arrêté ses émissions au bout de trois jours. Trois autres lancements sont en préparation.

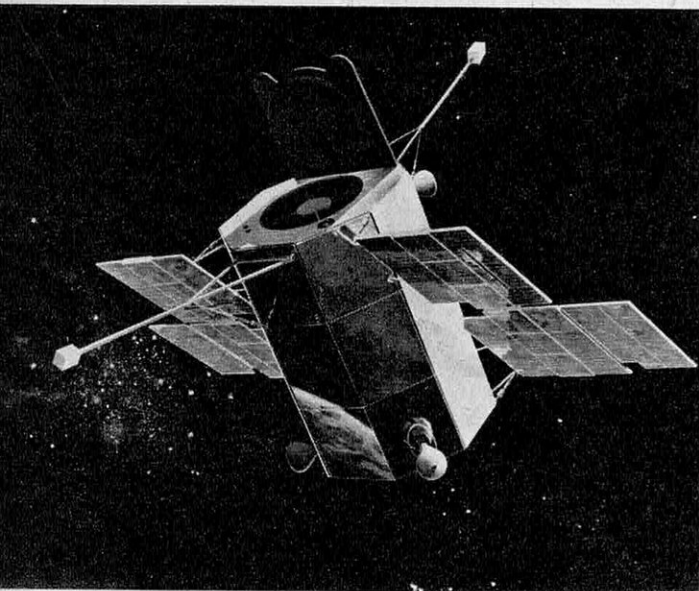


Les satellites terrestres O.S.O. (Orbital Solar Observatory) ont pour mission l'étude complète du spectre de radiations émises par le Soleil. O.S.O. I (lancé le 7 mars 1962) a

ainsi observé 77 éruptions solaires. Les satellites O.S.O. comportent deux parties : un caisson octogonal à la partie inférieure, maintenu en rotation à trente révolutions par

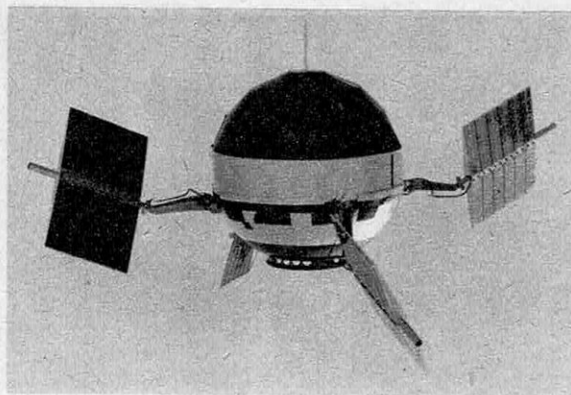
minute et portant trois bras articulés ; une plate-forme portant des panneaux de cellules solaires et les instruments d'observation proprement dits. Le pointage des ins-

truments est réglé par moteurs électriques en liaison avec des senseurs solaires qui assurent l'orientation correcte du caisson à la fois par rapport à la Terre et au Soleil.



▲ Lancé en avril 1966, O.A.O. I devait étudier les spectres ultraviolet d'un grand nombre d'étoiles et de nébuleuses, détecter des sources de rayons gamma, dresser la carte des émissions de rayons X. Correctement placé sur orbite, le satellite est en fait

resté muet par suite d'une panne de batteries emmagasinant l'énergie électrique. Le programme des satellites O.A.O., actuellement les plus lourds et les plus complexes des engins spatiaux américains non habités, doit comporter trois autres tels lancements.



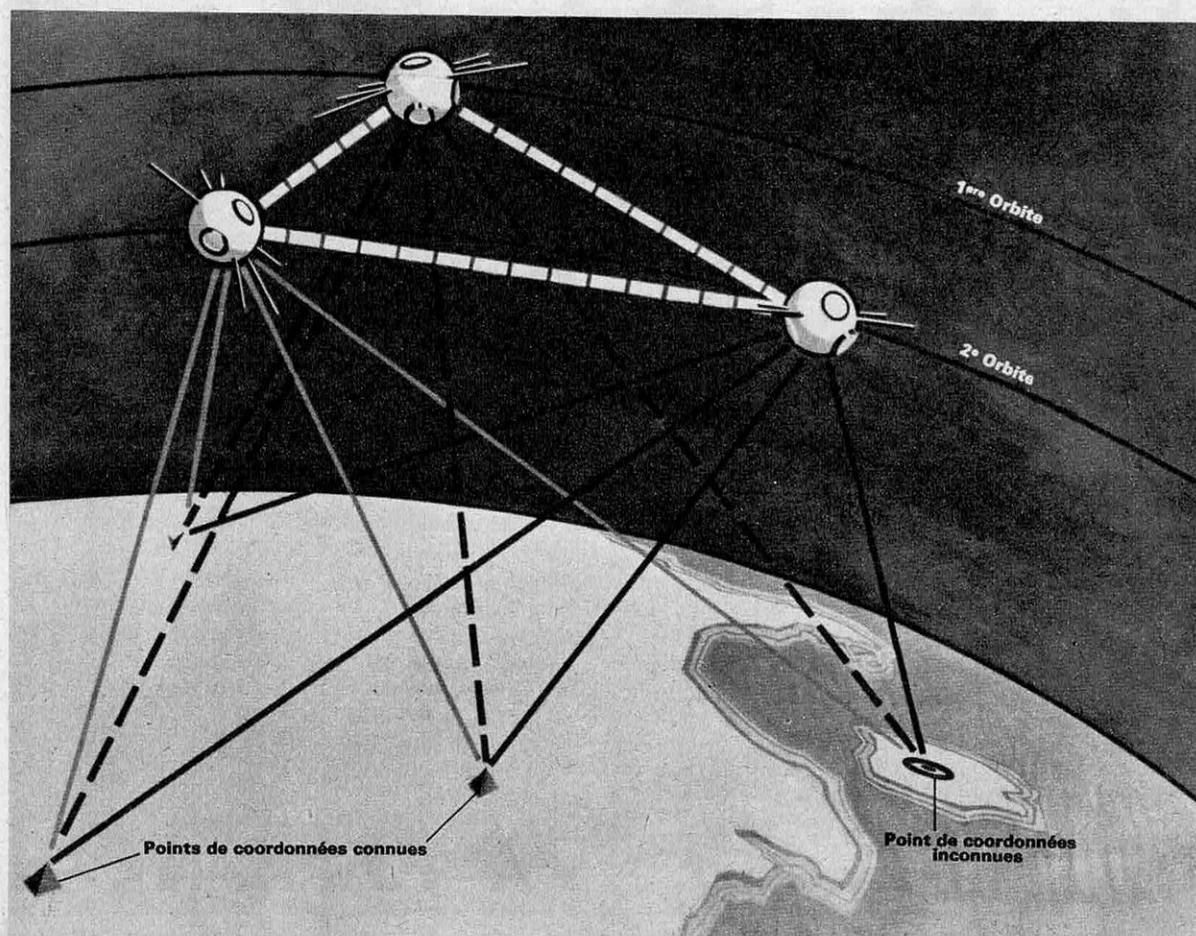
N.A.S.A.

Pioneer V, lancé en mars 1960, peut être considéré comme la première sonde spatiale véritable. Ses émissions radio, in-

terrompues au bout de trois mois seulement, ont permis de recueillir une quantité considérable d'informations sur le milieu spatial.

▼ Procédé SECOR pour la détermination des coordonnées d'un point de la surface terrestre : 3 stations émettrices de coordonnées connues et une quatrième située au point à localiser émettent un signal au passage du satellite. Le temps de parcours de

chacun des signaux donne la distance de chaque station au satellite, d'où l'on peut déduire les coordonnées de la quatrième station. En pratique, l'opération doit être répétée deux fois lors des passages du satellite sur deux orbites successives.



Les satellites du programme O.G.O. (*Orbiting Geophysical Observatory*) se subdivisent selon les caractéristiques de leur orbite en : E.G.O. (*Excentric Geophysical Observatory*) dont le but reste l'étude des particules énergétiques et des champs magnétiques ; et P.O.G.O. (*Polar Orbiting Geophysical Observatory*) pour l'étude de la haute atmosphère et de l'ionosphères près des pôles.

Citons également les S.E.C.O.R. (*Sequential Collation of Range*) lancés par l'Armée de l'Air américaine et qui accomplissent des missions de cartographie servant plus spécialement à déterminer de façon très rigoureuse la distance entre deux points de la surface de la Terre.

LES SATELLITES D'EXPÉRIMENTATION SCIENTIFIQUE

Ils servent à faire des expériences modifiant l'environnement en créant, par exemple, un nuage de sodium dans la très haute atmosphère ou dans l'ionosphère. L'analyse spectrographique de la lumière diffusée par le nuage donne des indications sur la température du milieu.

Le satellite français FR-I en constitue le type. Il étudie la propagation des ondes de très basse fréquence émises à partir d'une station terrestre et fournit également des indications sur l'environnement terrestre.

Les ondes radioélectriques de très basse fréquence ont la propriété de traverser les couches ionosphériques en suivant les lignes de force du champ géomagnétique. La densité de l'ionisation, variable d'une couche ionosphérique à l'autre et à l'intérieur d'une même couche entraînant déviation et pertes d'énergie des ondes, l'analyse de ces modifications permet de mieux connaître la structure de l'ionosphère. Tel est le principe de l'expérience confiée à FR-1. Sur une onde plus courte, le satellite réémet les signaux vers une station terrestre ; ils sont ensuite comparés à des signaux témoins.

Citons également l'expérience Westford qui a consisté à mettre sur orbite des aiguilles de cuivre devant être utilisées à la transmission radio entre deux points de la Terre.

LES SONDES

La proximité relative de la Lune explique qu'elle ait été très rapidement prise pour cible. Les lancements vers la Lune se sont multipliés depuis que Lunik I, dès janvier 1959, passait à 7 500 km seulement de notre satellite et que Lunik II réalisait le premier impact sur le sol lunaire en septembre de la même année. En 1960, Lunik III transmettait les premières photographies de la face de la Lune qui demeure cachée aux observateurs terrestres. Les missions, en 1966, des Luna (ou Lunik) IX, qui effectua le premier alunissage en douceur, Luna X, premier satellite artificiel de la Lune, Luna XI et XII, également satellisés autour d'elle, et Luna XIII, posé aussi en douceur, sont venus s'inscrire dans le cadre des projets probables russes d'envoi d'astronautes sur le sol lunaire. Du côté américain, les Ranger, le Surveyor I, posé en douceur, les Lunar Orbiter satellisés autour de la Lune, constituent des étapes importantes du programme Apollo.

Dans le domaine des sondes spatiales proprement dites, Pioneer V, lancé dès mars

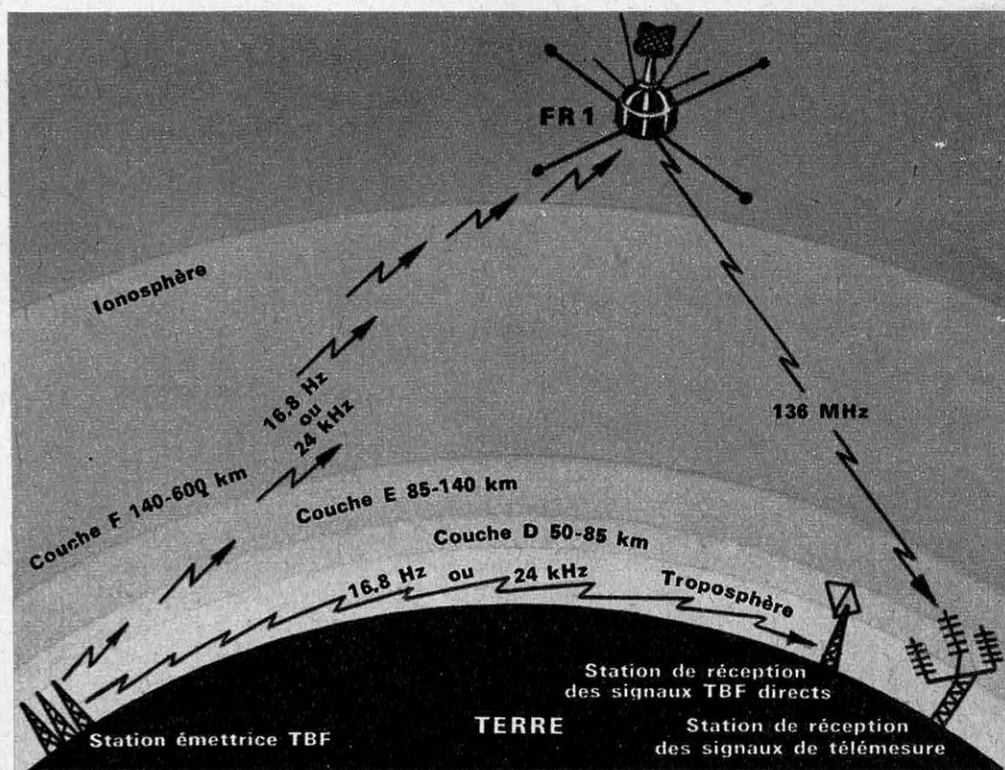




PHOTO N.A.S.A.

Lancée de Cap Kennedy le 16 décembre 1965 par une fusée Delta améliorée (ci-dessus) la sonde interplanétaire Pioneer VI a été placée sur une orbite héliocentrique intérieure à celle de la Terre (périhélie 120 mil-

lions de km; période 310 jours). C'est le premier engin de la nouvelle série de Pioneer qui doivent étudier de manière systématique les complexes répercussions de l'activité solaire sur le milieu interplanétaire.

1960, a marqué une véritable révolution dans notre connaissance de l'Espace, ne terminant ses émissions qu'après avoir parcouru 36 millions de kilomètres, mis en évidence la deuxième ceinture de radiations et fourni une riche moisson d'informations sur les champs magnétiques terrestre et interplanétaire, les flux de protons et d'électrons de grande énergie, etc. Pioneer VI, en décembre 1965, puis Pioneer VII, en août 1966, ont été aussi placés par les Américains sur des orbites héliocentriques et ont fourni à ce jour des millions de données sur les particules et les champs interplanétaires. Quatre autres lancements sont prévus. Mentionnons aussi en particulier la sonde spatiale russe Zond II qui, après avoir photographié de nouveau au passage la face cachée de la Lune, s'est établie sur une orbite héliocentrique extérieure.

Les sondes pour l'exploration scientifique au voisinage des planètes Mars et Vénus sont, pour les U.S.A., représentées par les Mariner. La première sonde à passer au voisinage de Vénus, à 33 600 km seulement, a été Mariner II, lancé en août 1962, équipé de radiomètres, magnétomètres, compteurs de radiations et détecteurs de poussière cosmique; il a constaté en particulier l'absence de champ magnétique propre à la planète et de ceintures de radiations comparables à celles de la Terre. Mariner IV, lancé le 28 novembre 1964, est passé en juillet de l'année suivante à 9 900 km de Mars et a transmis à la Terre les premières images détaillées du sol martien, révélant accessoirement qu'il n'existe pas non plus de ceintures de radiations ni de quantité importante de micrométéorites autour de la planète. D'autres Mariner sont en préparation et un engin Voyager est à l'étude qui se satelliserait autour de Mars ou de Vénus et enverrait éventuellement une capsule sur la planète; on n'envisage pas son lancement avant 1973.

Le premier lancement vers Vénus avait été le fait des Russes avec Venus I en février 1961, mais le contact avec la sonde avait été perdu très rapidement. Vers Mars, la sonde russe Mars I, également la première à être lancée vers cette planète (en novembre 1962), a pu être suivie jusqu'à 116 millions de kilomètres. Les sondes Zond I et II lancées en avril et en novembre 1964 et destinées respectivement à Vénus et à Mars, n'ont pas fonctionné de manière satisfaisante. Par contre, Vénus (ou Venera) II et III, lancées à quelques jours d'intervalle en novembre 1965, ont atteint le voisinage immédiat de Vénus, et Vénus III, en particulier, a réalisé le premier impact sur la planète en y faisant tomber une masse métallique aux emblèmes de l'U.R.S.S.

Les problèmes posés par le lancement des sondes interplanétaires ne sont pas essentiellement différents de ceux des sondes lunaires. Mais la difficulté cruciale tient à la transmission des informations aux énormes distances mises en jeu. Il faut sur l'engin non seulement une antenne directionnelle pointant avec précision vers la Terre, mais aussi un émetteur de très grande puissance pour assurer la liaison à 200 ou 300 millions de kilomètres avec un débit d'informations codées acceptable. Le record de distance est toujours détenu par Mariner IV auquel il fallait 8 heures et demie pour transmettre un seul de ses clichés. Les progrès de l'électronique joueront un rôle de plus en plus important dans l'exploration de l'espace lointain.

Louis LE PORTZ



JUMELAGE CULTUREL FRANCE-CANADA ENTRE DEUX INSTITUTS SPÉCIALISÉS dans l'enseignement de l'électronique

A la Maison du Québec, rue Barbet-de-Jouy, Monsieur Jean CHAPDELAIN, Président de la Délégation du Québec, a présidé la cérémonie du premier jumelage culturel dû à une initiative privée.

En effet, deux grands Instituts d'enseignement technique français et canadien — l'Institut Technique Professionnel de Paris, 69, rue de Chabrol, fondé et dirigé par Monsieur Roger PENON, et l'Institut Teccart de Montréal, 3155, rue Hochelaga, dirigé par son fondateur, Monsieur Jean MEUNIER — sont convenus d'échanger des méthodes d'enseignement sur le plan technique et de s'assurer une mutuelle collaboration pédagogique.

Ce jumelage, le premier réalisé dans l'enseignement technique privé, intervient au moment où les deux Instituts de Paris et de Montréal viennent d'atteindre leur vingtième année d'activité au service de l'enseignement technique.

L'un des résultats concrets de cet accord sera la possibilité pour les élèves de suivre, à l'avenir, directement les cours de l'Institut Technique Professionnel de Paris au Québec, par l'intermédiaire de l'Institut Teccart et de pouvoir se procurer en France les cours de l'Institut de Montréal en s'adressant à l'Institut Technique Professionnel de Paris.

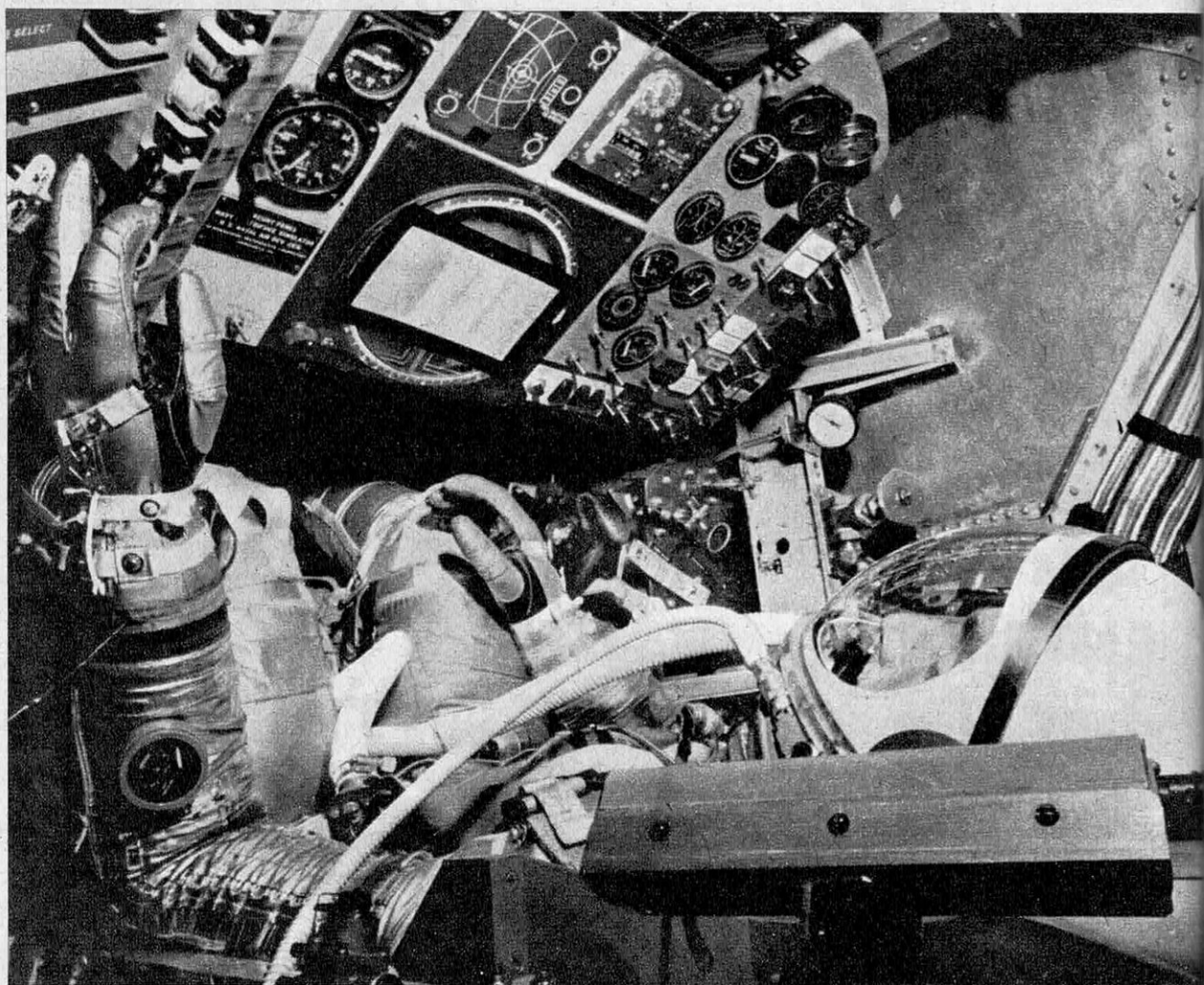
Les méthodes originales de travaux pratiques, de manipulations et de mesures, mises au point au Canada en s'appuyant notamment sur le considérable appareillage électronique d'origine canadienne ou américaine, deviendront accessibles aux élèves de l'I.T.P. de Paris.

Par ailleurs, les élèves canadiens de l'Institut Teccart bénéficieront de l'enseignement technique plus élevé de l'Institut Technique Professionnel, issu d'une pédagogie différente, reflet de la pensée française.

Cet échange culturel tendra à uniformiser, dans toute la mesure du possible, les termes et expressions techniques en ce qu'ils peuvent avoir de dissemblable dans nos deux pays. Ce jumelage permettra ainsi une communauté d'expression et de langage qui viendra parfaire la grande entente franco-canadienne.

PHYSIOLOGIE SPATIALE:

les premières données de l'expérience



Écrasé sur son siège par les accélérations au départ et au retour, privé de pesanteur dans l'intervalle, contraint de respirer une atmosphère artificielle, transpercé par les météorites et les radiations ionisantes, l'astronaute pourrait-il travailler ou même survivre ? S'ils prenaient quelques précautions, la théorie, complétée par l'expérience dans les limites où l'on pouvait reproduire sur terre les conditions du vol spatial, rassurait les candidats au voyage. Les quelques milliers d'heures passées à bord des Vostok, Voskhod, Mercury et Gemini n'étaient pas inutiles pour confirmer ces prévisions optimistes. Mais, comme il est naturel, elles ont révélé des difficultés insoupçonnées, dont la fatigue au cours des acti-

L'entraînement des élèves astronautes reconstitue des conditions aussi voisines que possible de celles d'un vol orbital : position couchée sur le dos et combinaison

pressurisée afin de résister à l'accélération de départ de la fusée porteuse, scaphandre isolant la tête avec alimentation par un mélange respiratoire fourni sous pression.

vités extra-véhiculaires et la décalcification ne seront certainement pas les seules.

En dehors de quelques accidents survenus à Titov et à Gagarine après leur retour, qui n'ont d'ailleurs pas épargné non plus Glenn et Carpenter, les autorités soviétiques ont été assez discrètes sur les constatations faites au cours des vols. En septembre dernier, la

Komsomolskaia Pravda dénonçait les agissements d'une étudiante américaine qui, sous le prétexte de recherches scientifiques, interrogeait ses collègues soviétiques sur des questions de physiologie spatiale. Par contre, du premier vol de Glenn à la retransmission de la respiration haletante de Gordon lors de sa sortie de Gemini XI, aucun des incidents de voyage et aucune des difficultés rencontrées par les astronautes américains ne nous ont été cachés.

LES ACCÉLÉRATIONS

A la longueur de tube choisie par Jules Verne, le tir au canon pour le lancement d'un véhicule spatial à sa vitesse de libération présentait, du point de vue de l'accélération imprimée aux passagers, des difficultés que n'ignorait certainement pas l'auteur. Il valait mieux ne pas trop s'y appesantir, car l'aventure eût risqué de tourner court. La propulsion par fusée écarte aujourd'hui ces risques.

La tolérance aux accélérations et les problèmes qu'elles posent ont été étudiés depuis plusieurs dizaines d'années en aéronautique. Les solutions qu'on y a trouvées se sont transposées aisément en astronautique.

Si la fusée permet, théoriquement, de réduire l'accélération au départ autant qu'on le désire, cette réduction se paye d'un important supplément de poids. Pour concilier sécurité et économie, on choisira une accélération au départ, donc une poussée des différents étages de la fusée, aussi élevée qu'on le pourra tant qu'elle restera compatible avec la tolérance des astronautes.

On est ainsi contraint d'éliminer la position debout ou assise en faveur de la position couchée. Sous l'effet d'une accélération verticale dirigée des pieds vers la tête, le sang afflue en effet dans les membres inférieurs, vidant le cerveau avec les conséquences bien connues : voile gris puis voile noir, au cours desquels la vision s'obscurcit de plus en plus, suivis, si l'accélération élevée se prolonge, d'une perte de connaissance. Au contraire, les accélérations transverses appliquées à l'homme couché sur le dos ou sur le ventre sont beaucoup mieux supportées, car elles n'entraînent pas d'amples déplacements du volume sanguin. On admet généralement que le temps de tolérance d'une accélération plaquant contre son siège l'homme couché sur le dos est de plus de 1 minute pour une valeur de 8 g (g, accélération de la pesanteur) alors qu'elle ne dépasserait pas 4 à 5 secondes si, pour la même valeur, elle tendait à chasser du cerveau vers les pieds le

volume sanguin de l'homme debout ou assis. Aussi bien pour Mercury et Gemini que pour les véhicules spatiaux soviétiques, les astronautes partent donc couchés sur le dos. On s'astreint à rester, aussi bien pour la valeur de l'accélération que pour sa durée, dans les limites où l'obscurcissement de la vision, les difficultés respiratoires et les douleurs thoraciques ne dépassent pas la tolérance de l'équipage.

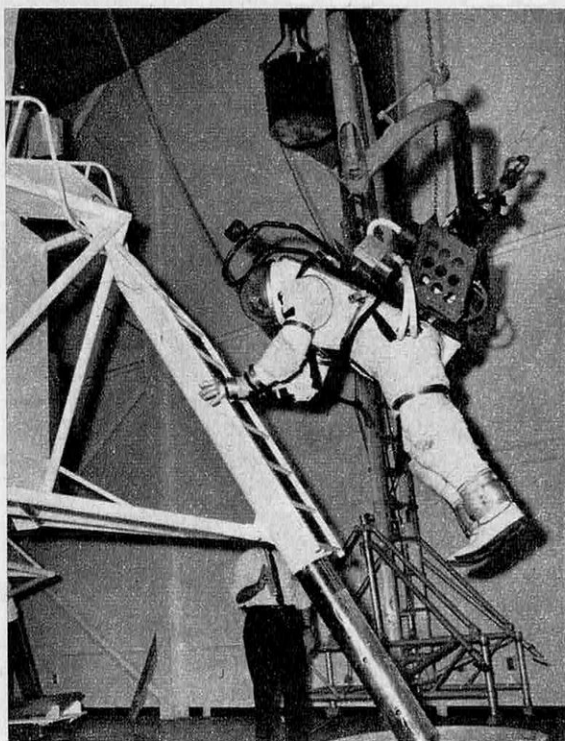
Lors de la décélération au retour, l'astronaute tendrait à être arraché de son siège si on le maintenait dans la même position qu'au départ. Serait-il équipé d'un harnachement spécial pour l'y maintenir que cette inversion des accélérations est moins bien supportée. La limite de tolérance à une accélération antéro-postérieure de 8 g ne dépasse pas, en moyenne, 40 secondes au lieu de la minute dont nous avons fait état lorsqu'elle s'exerce en sens inverse. La solution consiste donc, simplement, à retourner la capsule lors de la rentrée dans l'atmosphère pour que les astronautes continuent à être plaqués sur le dos.

Tous les soins ont été donnés aux détails. On a déterminé avec précision l'orientation la plus favorable du buste, des cuisses et des jambes. Le siège-couche est équipé d'un matelas en mousse de plastique établi pour chaque astronaute spécialement et qui épouse son corps. Dans de telles conditions, on a pu faire supporter en centrifugeuse,

L'étude des effets de l'apesanteur sur la coordination des mouvements s'effectue couramment en avion au cours de vols sans

propulsion. Ces expériences permettent aux astronautes de répéter les opérations qu'ils auront par la suite à effectuer sur orbite.





Au centre de Langley Field, le simulateur de pesanteur réduite permet à un expérimentateur de s'entraîner dans les conditions régnant

à la surface de la Lune. Revêtu d'un scaphandre rigide, il essaie de gravir l'échelle d'une maquette du véhicule d'exploration lunaire.

après entraînement, des accélérations transverses de 20 g pendant des temps de l'ordre d'une dizaine de secondes.

LA NON-PESANTEUR

Si aucun incident n'a marqué le départ et le retour des cabines ainsi équipées, il n'en a pas été de même lors de l'état de non-pesanteur auquel ont été soumis les astronautes pendant une durée variant de quelques heures à une quinzaine de jours.

Sur orbite circulaire autour de la Terre, l'astronaute est soumis à son poids et à une force centrifuge égale et opposée. La résultante est nulle : il est en état de « non-pesanteur ». La conclusion est la même sur orbite elliptique et plus généralement sur toute trajectoire spatiale décrite sans poussée propulsive ni résistance atmosphérique, la résultante des forces d'inertie et d'attraction par les astres étant encore nulle.

On a essayé de reproduire à la surface de la Terre cet état de non-pesanteur. On y parvient sur un corps lâché en chute libre, mais pour une durée très brève. L'avion lancé en cabré et dont on coupe la propul-

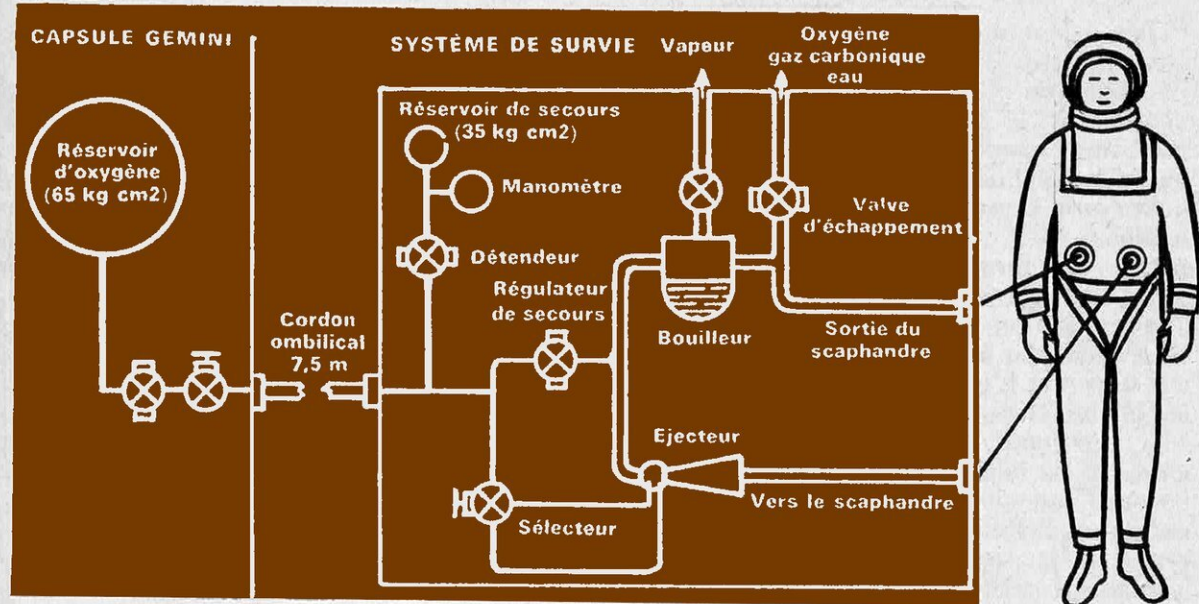
sion permet une étude un peu plus longue, pendant quelques dizaines de secondes. La sensation, celle que l'on éprouve lorsqu'un ascenseur descend brusquement, est désagréable pour certains, un quart à peu près du total, indifférente ou agréable pour d'autres. On en est quitte pour éliminer la candidature des premiers aux fonctions d'astronaute.

Mais cette indifférence ou cet agrément risquent de masquer une série de troubles dont certains peuvent avoir des conséquences sérieuses à la longue.

Les premiers se rapportent à l'effet sur le système cardio-vasculaire. Le travail demandé au cœur est réduit. Le rythme cardiaque peut être modifié, accéléré ou retardé suivant les espèces et les individus. Chez l'homme, les troubles sont le plus souvent discrets. Ce n'est guère que pour Schirra, qui a présenté un état semi-syncopal lors de sa récupération, qu'on a pu noter la difficulté de réadaptation à la pesanteur. Il ne semble pas, en tout cas, que ce genre de troubles s'accroisse avec la durée du vol. Les médecins responsables de la surveillance des astronautes américains n'hésitent pas à extrapoler leurs constatations optimistes pour les vols de 30 jours qu'on se propose de demander aux équipages du M.O.L. (*Manned Orbiting Laboratory*).

La perte de poids des astronautes américains lors de leurs vols a été notable, même en dehors de tout travail physique, mais assez différente suivant les individus. En moins de 5 heures, sur Gemini III, Grissom et Young ont perdu respectivement 1,2 kg et 1,6 kg. En 7 jours, sur Gemini V, Cooper et Conrad perdaient 3,4 kg et 3,8 kg. En 14 jours, sur Gemini VII, Borman et Lovell perdaient 4,5 kg et 2,8 kg. Sur Gemini IX, en 3 jours seulement mais avec une sortie hors de la capsule, Cernan perdait les mêmes 4,5 kg que Borman. Ces pertes de poids ne semblent pas très inquiétantes car elles correspondent surtout à des pertes d'eau ; la récupération d'une fraction élevée du poids perdu a pu se faire dans les 36 heures qui ont suivi le retour. Elles tiennent, pour partie au moins, à l'état de non-pesanteur puisqu'on en observe de semblables chez l'homme alité et, pour les astronautes travaillant hors de la capsule, aux sueurs abondantes qui accompagnent leur activité extravéhiculaire.

Plus inquiétantes sont la décalcification osseuse et l'atrophie musculaire observées à un faible degré chez la plupart des astronautes américains. Le Dr Charles A. Berry, responsable des programmes médicaux au « *Manned Spacecraft Center* » de la NASA,



L'alimentation en oxygène au cours des sorties dans l'espace du programme Gemini était assurée par cordon ombilical à partir de la capsule. Après détente, cet oxy-

gène entraîne dans l'éjecteur la fraction restant dans le circuit respiratoire principal, refroidie par passage dans le bouilleur après épuration et départ partiel de l'oxygène.

les attribue également à la mise au repos complète des muscles et du squelette en état de non-pesanteur. On a imposé aux astronautes de Gemini VII, lors de leur voyage spatial de 14 jours, divers exercices physiques, notamment le pédalage sur une bicyclette électronique dont on pouvait régler le couple résistant, l'exercice s'arrêtant lorsque le rythme cardiaque atteignait 180 pulsations à la minute. Toujours sur Gemini VII, on a complété la ration alimentaire par 1 gramme de calcium pour compenser cette décalcification. Enfin, la ration hydrique a été relevée. Peut-être Lovell, qui n'a perdu que 2,8 kg lors de ce voyage de 14 jours, a-t-il bénéficié de cet exercice et de ce changement de régime alimentaire ; c'est plus douteux pour Borman qui a perdu 4,5 kg. Néanmoins, le Dr Berry considère que l'exercice physique à bord d'un vaisseau spatial sera indispensable au maintien des astronautes en condition satisfaisante.

LES ACTIVITÉS EXTRA-VÉHICULAIRES

Les difficultés rencontrées lors de la sortie des astronautes américains hors de leur capsule Gemini ont surpris les spécialistes de la physiologie spatiale, qui ne s'attendaient

guère à ce que la non-pesanteur compliquât à ce point les missions EVA (*Extra-Vehicular Activity*).

Lors de la première de ces sorties, sur Gemini IV, le rythme cardiaque de White passa de 85 pulsations à la minute à 160 dès qu'il s'éloigna de la capsule. Il se maintint ensuite entre 140 et 160 pour atteindre un maximum de 178 lorsqu'il rentra en refermant le panneau.

Lorsque Cernan sortit de Gemini VII, son rythme cardiaque se maintint entre 130 et 170 pulsations à la minute, pour atteindre 180 lorsqu'il referma le panneau. Cernan fut très gêné par les condensations de vapeur d'eau en provenance de sa respiration et de sa sueur, qui dépassaient les limites prévues par le dispositif d'absorption.

Sur Gemini X, Collins fit deux sorties au cours desquelles son rythme cardiaque resta très au-dessous de celui de White et de Cernan. Il se stabilisa à 110 pulsations à la minute, valeur voisine de celle de son coéquipier Young resté dans la cabine, et ne se releva qu'à 160 lors de la rentrée.

La sortie de Gordon, sur Gemini XI, marqua le retour des difficultés habituelles : fatigue extrême, pouls à plus de 160, respiration haletante avec 40 inspirations à la minute, sueurs abondantes, si bien que Gordon dut rentrer dans la cabine après 40 minutes seulement alors que le programme de vol prévoyait une durée de 115 minutes. Lors des déclarations du Dr Berry, responsable médical des astronautes, pessimisme et optimisme alternaient. Après le vol de Gemini XII et les performances remarquables d'Aldrin dans ses activités extra-véhiculaires qui s'étendirent sur plus de cinq heures, l'optimisme l'emporta.

Dans la mesure où les difficultés rencontrées tiennent à l'absence de pesanteur, le vol même de Gemini XI apporte quelque espoir : c'est le premier où l'on ait réussi à créer une pesanteur apparente, bien que limitée à 1/600 de celle qui règne à la surface de la Terre. Depuis quelques années les propositions de véhicules ou laboratoires spatiaux en forme de roue se sont multipliées. La force centrifuge produite par leur mise en rotation y soumettrait l'astronaute à l'équivalent, ou à une fraction, de la pesanteur terrestre. L'expérience tentée lors du vol de Gemini XI ne demandait pas un matériel aussi important. Lors du rendez-vous, Gordon avait pu relier Gemini et la fusée Agena par un filin de 30 m, qui restait normalement tendu sous l'effet des vitesses orbitales différentes de la capsule et de la fusée. Sous l'action des petites fusées d'attitude de Gemini, un mouvement de rotation fut imprimé à l'ensemble, qui resta stable pendant deux heures. L'équipage de Gemini put en vérifier l'effet : un crayon lancé en l'air retombait sur la table, au lieu de flotter dans la cabine.

Accessoirement, la stabilisation gyroscopique observée lors de cette lente rotation ouvrait une autre possibilité intéressante, le maintien dans une direction fixe de laboratoires orbitaux sans contrôle d'attitude par jets de gaz et sans la consommation élevée qui en résulte.

Enfin, lorsqu'après son retour sur Gemini XI, Gordon ouvrit la porte de la cabine en se penchant au dehors pour prendre des photographies, il put exécuter ce travail sans aucune fatigue, avec un rythme cardiaque — 90 pulsations à la minute — et respiratoire — 17 inspirations à la minute — proches de la normale. Les longs séjours et même un certain travail à l'intérieur d'une cabine spatiale paraissent être acceptés aisément. Mais l'astronaute n'échappe pas à la loi qui veut que tout le malheur des hommes vient de ne pas savoir rester en repos dans une chambre, même si elle est aussi inconfortable qu'une capsule Gemini.

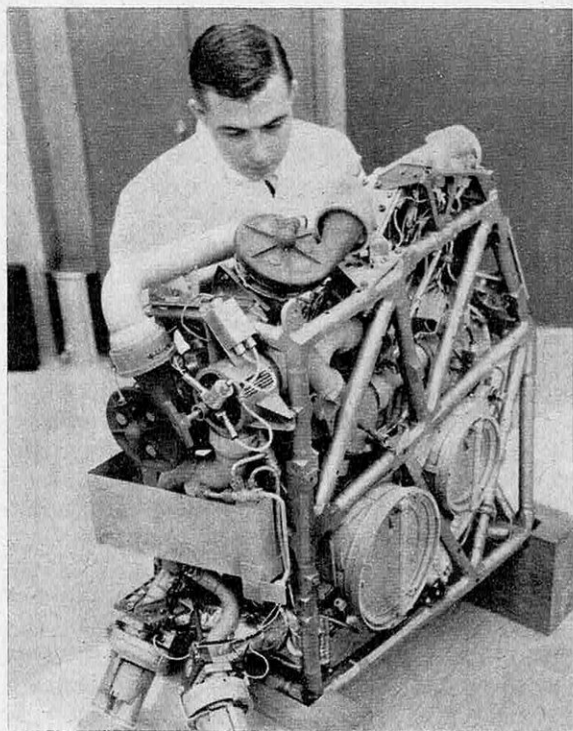
L'ENVIRONNEMENT

Si l'on met à part un léger échauffement du véhicule spatial au départ et un échauffement beaucoup plus important au retour, l'astronaute peut affronter sans grande difficulté, entre 10 et 50 km d'altitude, les -56°C de la stratosphère tout comme les 1200°C de la thermosphère qu'ont traversée Conrad et Gordon pour battre le record d'altitude par 1370 km. Du fait de la réduction extrême de densité, les échanges de chaleur entre Gemini XI et l'extérieur se

limitaient, comme pour les autres véhicules spatiaux américains et soviétiques, à un effet de radiation. En choisissant des revêtements plus ou moins émissifs ou réceptifs, on peut régler dans une large mesure la température à l'intérieur de la cabine. En moyenne, le bilan thermique se solde par un gain, que l'on devra compenser par un dispositif de refroidissement.

La nécessité d'une atmosphère artificielle respirable par les astronautes est évidente, mais n'impose pas une pression et une composition identiques à celles de l'atmosphère terrestre aux basses altitudes. L'expérience du séjour en montagne et celle du masque à oxygène des aviateurs montrent quels écarts peut supporter l'homme sans inconvénient grave.

La première exigence est la fourniture d'oxygène qui pourrait se faire, en tolérant quelques troubles, jusqu'à une pression partielle voisine de 100 mm de mercure. Mais, comme il n'est pas beaucoup plus difficile d'alimenter cabine et combinaison spatiale sous 150 mm de mercure que sous 100 mm, on évitera de ce côté toute fatigue supplémentaire imposée à l'astronaute.



A bord du Module d'Exploration Lunaire, le système de traitement de l'atmosphère (ci-dessus) sera le cœur d'un équipement de survie aux multi-

ples missions : maintien de la température, de la pression et de l'humidité, fourniture de l'eau potable, refroidissement des appareils électroniques.

Faut-il respecter la composition de l'atmosphère naturelle, où le principal diluant de l'oxygène est l'azote ? Ou bien suffira-t-il de donner à l'astronaute de l'oxygène pur, à une pression voisine de la pression partielle de l'oxygène dans l'atmosphère naturelle ?

Cette deuxième solution est séduisante, car elle permet de réduire d'autant la pression à l'intérieur des cabines et surtout des combinaisons. Aussi l'a-t-on adoptée jusqu'ici. Cependant certains mettent en cause la toxicité de l'oxygène pur pour un séjour prolongé. Aux États-Unis, la NASA poursuit donc des études sur une atmosphère d'oxygène légèrement enrichie en azote, pendant que l'*U.S. Air Force* s'oriente vers une atmosphère oxygène-hélium pour son programme de laboratoire orbital. Plusieurs avantages sont attribués à ce remplacement de l'azote par l'hélium : densité moindre, accroissement des échanges thermiques entre la peau et l'atmosphère, donc du confort.

L'élimination du gaz carbonique rejeté lors de la respiration s'impose avec la même nécessité que l'alimentation en oxygène. La tolérance de l'homme à une atmosphère chargée en gaz carbonique est très faible ; des réactions sérieuses apparaissent dès la pression partielle de 5 %.

Jusqu'ici on s'est borné à fournir à l'astronaute un oxygène en bouteilles et à absorber chimiquement le gaz carbonique expiré. Mais on étudie dès maintenant, pour les séjours de très longue durée, les procédés régénératifs qui fourniront un oxygène extrait du gaz carbonique. On espère même reproduire ou améliorer le cycle naturel du carbone rejeté à l'état de gaz carbonique par les animaux et absorbé par les végétaux qui le restituent sous une forme utilisable pour l'alimentation des premiers.

LES RADIATIONS IONISANTES

La basse atmosphère protège l'homme aussi bien des rayons cosmiques que des protons en provenance des éruptions solaires. S'il ne s'élève pas trop haut, il reste par ailleurs à l'abri des particules diverses emprisonnées dans les ceintures de radiations Van Allen qui entourent la Terre.

Les rayons cosmiques, particules de haute énergie, comprennent essentiellement, à grande distance de la Terre, des protons (noyaux d'hydrogène) et des particules alpha (noyaux d'hélium). La dose de radiations correspondante croît d'abord lorsque ce rayonnement primaire, au contact des couches supérieures de l'atmosphère, heurte les noyaux d'azote et d'oxygène en produisant un rayonnement secondaire. Le maximum se si-

tue vers 25 km d'altitude. Rayonnements primaire et secondaire décroissent ensuite jusqu'au sol, absorbés par la basse atmosphère.

Les protons émis lors des éruptions solaires présentent pour l'astronaute un danger plus grave que celui des rayons cosmiques. Les doses reçues, à grande distance de la Terre, au cours des plus fortes éruptions, avoisinent la dose létale. Il semble cependant qu'on puisse les prévoir avec quelque certitude à courte échéance. Le danger n'en reste pas moins sérieux, peut-être lors des voyages d'exploration lunaire et à coup sûr lors des voyages interplanétaires.

Les ceintures de radiations Van Allen, du nom du savant qui les découvrit lors des premières mises sur orbite de satellites américains, résultent de la capture des protons et électrons en provenance des rayons cosmiques et des éruptions solaires par le champ magnétique terrestre. On distinguait au début deux ceintures, de compositions différentes, axées sur la ligne des pôles magnétiques de la Terre, la ceinture interne se rapprochant entre 1 000 et 2 000 km de la Terre, la ceinture externe s'étendant jusque vers 60 000 km. Les mesures les plus récentes tendent à confondre ces deux ceintures en une seule, avec d'amples variations d'emplacement.

L'intensité des radiations dans les ceintures Van Allen est nettement plus élevée qu'en deçà ou au delà. On en a conclu qu'il vaudrait mieux ne pas les traverser lors des explorations lunaires ou planétaires et quitter la Terre dans les zones polaires où elles sont absentes. Mais on peut également les franchir, à condition que la traversée soit rapide. Lors des séjours de longue durée en observatoire sur orbite à quelques centaines de kilomètres, leur rôle est bénéfique. Elles captent la plus grande partie des protons émis lors des éruptions solaires et en protégeront donc, ce que ne ferait pas une orbite polaire à même altitude.

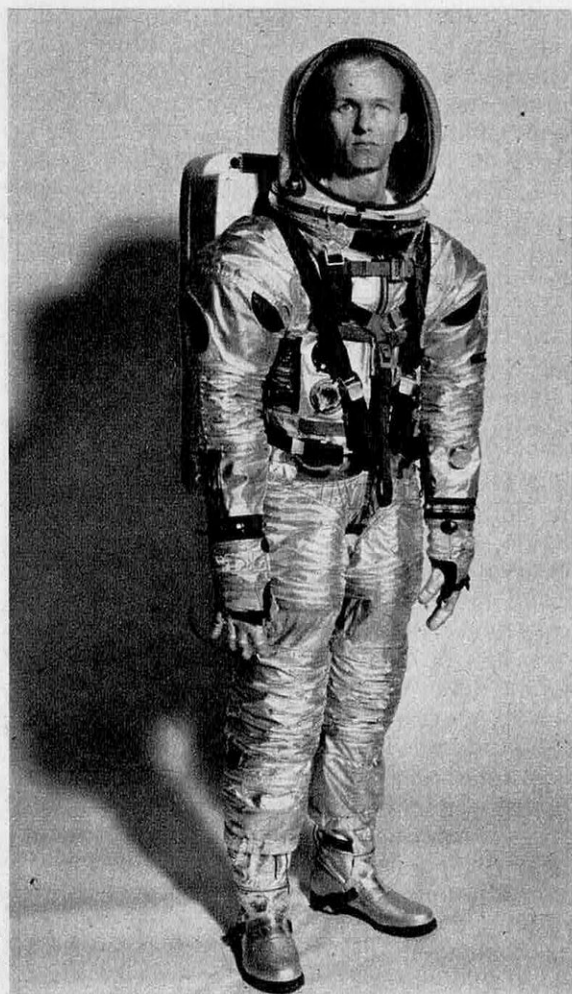
L'étude des lésions produites par les radiations ionisantes n'a pas cessé depuis les premières applications, pacifiques ou militaires, de l'énergie atomique. Leurs effets, complexes, dépendent à la fois de l'énergie de ces radiations, de la part qu'elles en transfèrent à l'organisme qu'elles traversent, du fractionnement de la dose totale, des tissus qui les reçoivent... Si l'on a pu reproduire avec certitude ces effets nocifs soit lors des explosions nucléaires, soit en laboratoire, l'expérience spatiale sur l'animal n'a pas donné de résultats concluants. Le Dr Willard F. Libby, membre et porte-parole scientifique de l'*Atomic Energy Commission*, qui

s'était fixé pour tâche de défendre celle-ci contre ses accusateurs, avait coutume de comparer les doses reçues lors des retombées à celles que recevaient en permanence, du fait de l'altitude, les populations montagnardes. Il ne relevait pas plus de leucémies ou de cas de dégénérescence parmi celles-ci que parmi celles qui vivaient au niveau de la mer.

Peut-on protéger l'astronaute contre ces radiations par un blindage ? Sa composition et son épaisseur dépendent de la nature et de l'énergie des radiations qu'il doit arrêter. Quelques millimètres d'alliages légers conviennent pour les électrons, quand les protons exigent une forte épaisseur de composés hydrogénés. Encore faut-il prendre soin de ne pas transformer, par l'interposition d'un blindage mal choisi, une émission primaire

de particules à grande énergie, qui traverseraient sans effet grave le corps de l'astronaute, en une émission secondaire beaucoup plus nocive. Théoriquement, et plus encore pratiquement dans les limites du poids que l'on pourrait allouer à un blindage, le problème de la protection contre les radiations ionisantes est loin d'être résolu.

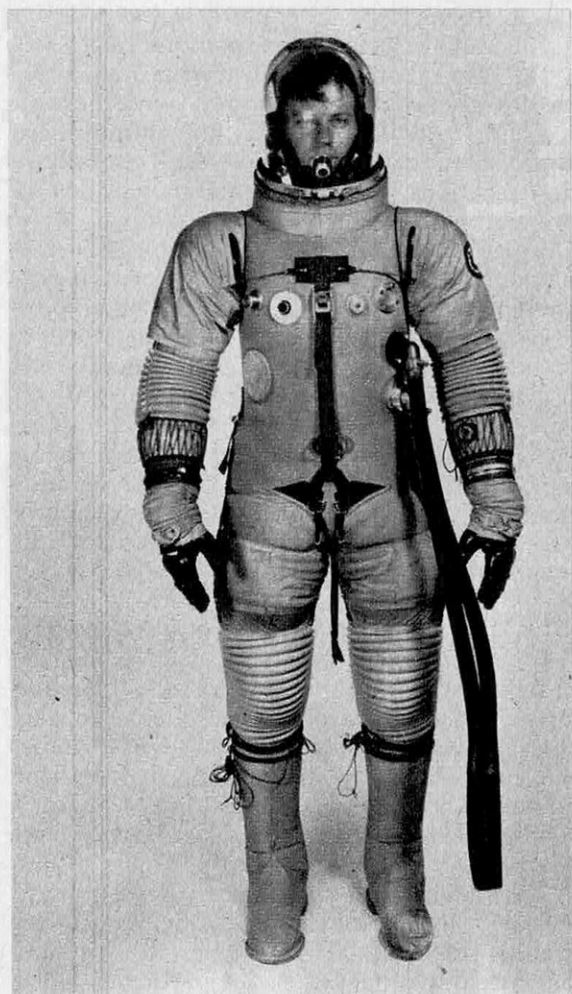
Jusqu'ici, l'expérience ne s'est pas prononcée nettement. Les animaux placés sur orbite traversant à plusieurs reprises les ceintures Van Allen n'ont pas réagi défavorablement. Cependant, sur les mouches drosophiles, matériel de choix pour les études de génétique, on a noté un relèvement du nombre des mutations nocives. Les astronautes de Gemini XI ont pu battre sans inconvénient le record d'altitude en pénétrant dans la ceinture Van Allen intérieure. Mais la dose de



PHOTOS NASA

Diverses tenues telles que celle-ci sont expérimentées actuellement pour les astronautes de la capsule

Apollo. L'équipement de survie porté sur le dos assurerait une autonomie de quatre heures sur la Lune.



Présenté par International Latex, le modèle souple Black 2 pourrait être la version définitive retenue pour

le vol Apollo. Il serait alors complété d'un survêtement assurant la protection thermique de l'astronaute.

radiations qu'ils ont reçue était inférieure à celles des astronautes qui les ont précédés.

LES MÉTÉORITES

Ni l'astronaute ni son véhicule ne résisteraient à l'impact d'une grosse météorite. Mais la probabilité de rencontre est presque aussi faible que les chances d'être tué sur la Terre par celles qui traversent notre atmosphère.

Les micrométéorites se rencontrent fréquemment. Les plaques servant à l'enregistrement de leurs impacts les ramènent par milliers. Mais leur masse est alors trop faible pour perforer une paroi même mince.

L'expérience confirme la faiblesse du risque. Des satellites continuent leurs émissions après plusieurs années de séjour sur orbite.



Des scaphandres rigides articulés assureraient une meilleure protection contre les micrométéorites.

De tels équipements pourraient être retenus en vue de sorties prolongées sur le sol de la Lune ou des planètes.

LES PROGRAMMES DE RECHERCHES

Dès les premières mises sur orbite de la cabine Apollo, prévues pour la fin de 1966, on s'efforcera de confirmer et de compléter les constatations faites lors des vols sur Gemini.

Lors du premier lancement dénommé AS-204 (*Apollo-Saturn 204*), sept expériences médicales sont prévues.

M-1 : étude de pantalons avec alternances de pressions pneumatiques à la cadence du rythme cardiaque en vue d'atténuer les effets cardio-vasculaires de la non-pesanteur sur les membres inférieurs.

M-4 : enregistrement par phono-cardiogramme de la fonction cardiaque.

M-5 : mesure des variations du volume sanguin en état de non-pesanteur.

M-6 : étude de la décalcification en état de non-pesanteur par la mesure des dimensions des os d'un doigt et du talon du côté opposé.

M-9 : mesure des effets de la non-pesanteur sur l'oreille interne (canaux semi-circulaires notamment).

M-11 : prise et analyse de sang au départ et au retour.

M-12 : mesure des variations de l'endurance physique au cours du pédalage sur ergomètre enregistreur.

Lors du vol AS-205, six des expériences, M-4, M-5, M-6, M-9, M-11 et M-12, seront renouvelées. Trois autres s'y ajouteront :

M-7 : autres études de décalcification.

M-19 : enregistrement individuel de l'oxygène aspiré et du gaz carbonique expiré.

M-20 : mesures pulmonaires en rapport avec les mouvements respiratoires au départ, en cours de vol et à la rentrée.

Jusqu'aux derniers vols sur Gemini, la mécanique et l'électronique entassées dans la cabine se sont fort bien comportées. Au lendemain de Gemini XI, I.B.M., le constructeur des calculatrices chargées des rendez-vous et du retour sur la Terre, vantait leur perfection en regard des manœuvres manuelles. On avait pu multiplier avec leur aide les rendez-vous au cours d'un seul vol et réduire à 1,5 mille l'écart à l'arrivée de la capsule dans l'Atlantique, après un retour entièrement automatique. La calculatrice est insensible à la fatigue, à la non-pesanteur et à la décalcification. Il ne faut pas désespérer des progrès de l'homme dans ces domaines, si l'on songe à ceux qu'il a fait en moins de dix ans. Mais ils exigeront de nombreux vols d'Apollo et des laboratoires orbitaux.

Camille ROUGERON



la course à la lune

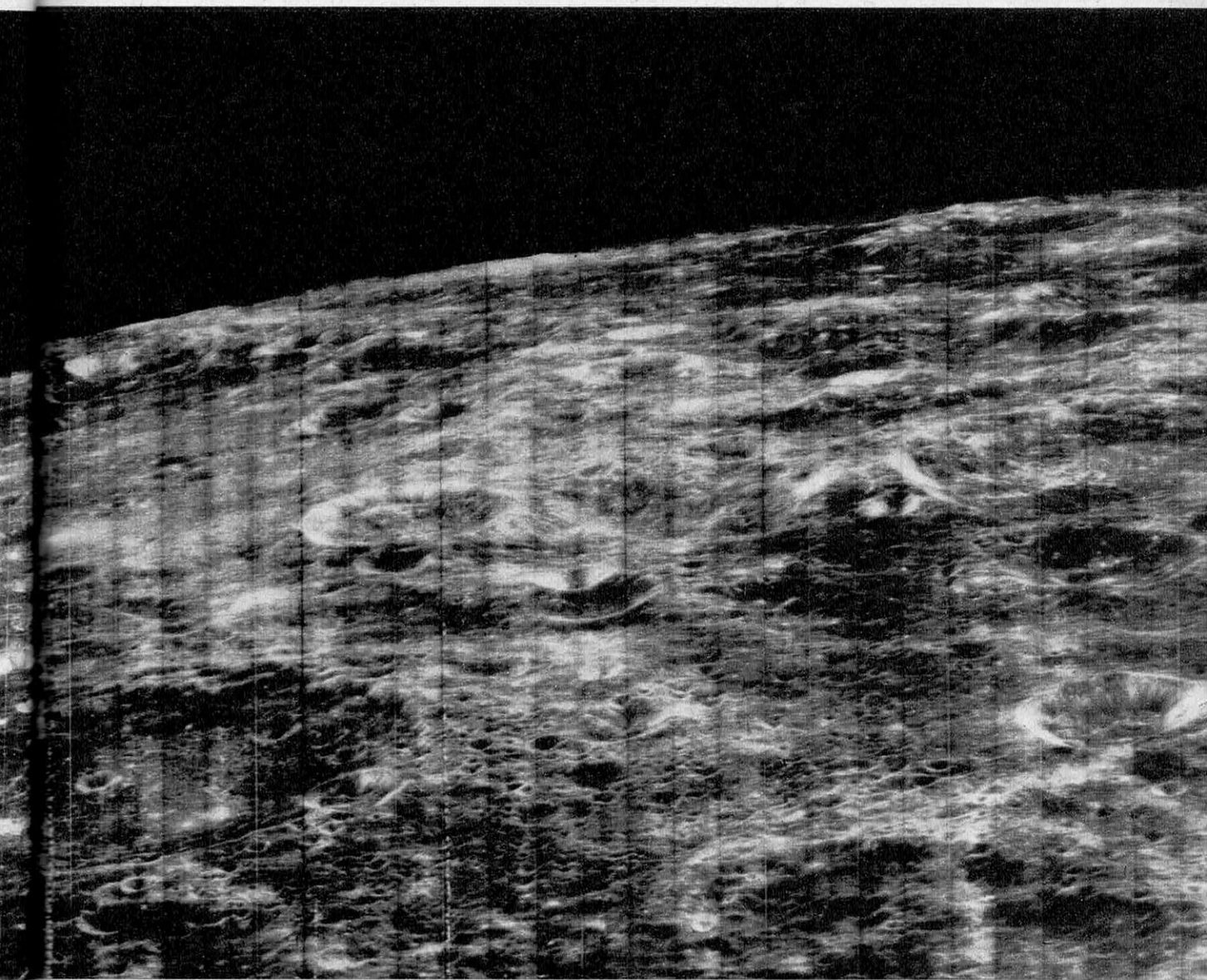
Dès fin 1958, avant même que les techniques de mise sur orbite des satellites artificiels autour de la Terre aient été parfaitement maîtrisées, Américains et Russes prenaient la Lune pour cible de leurs premières sondes spatiales, avec l'arrière-pensée avouée d'y envoyer peut-être un jour des explorateurs humains. En fait, nul ne sous-estimait les énormes difficultés d'une telle entreprise dont on pouvait légitimement penser à l'époque qu'elle était sans grand espoir de réussite. Cependant les années ont passé, beaucoup d'inconnues ont été levées, de nombreux problèmes ont trouvé leur réponse, et on peut dire que, l'une après l'autre, les principales difficultés techniques sont tombées.

Nous voici maintenant à moins de deux années peut-être de ce grand moment de l'Histoire où l'Homme conquerra la Lune.

Nous nous proposons ici de retracer les différentes phases du programme lunaire américain telles qu'elles ont pu être menées à bien jusqu'ici, et d'indiquer quelles sont les étapes d'importance capitale qui devront être franchies pendant les mois à venir avant que soit tentée, probablement au cours de 1968, la grande aventure qui conduira deux hommes sur la Lune. La discrétion observée du côté russe ne nous permettra, par contre, que de dresser un bilan des expériences officiellement acquises, aucune indication n'ayant été fournie sur les développements prochains du programme soviétique.

Dix années de préparation

Lorsque les premiers Américains fouleront le sol lunaire, ils auront bénéficié de dix



BOEING-NASA

ans d'efforts dans tous les domaines de la recherche spatiale. On peut distinguer plusieurs phases principales dans le programme spécifiquement lunaire des Etats-Unis :

- une pré-série de sondes *Pioneer* chargées d'assurer une première prise de contact avec l'environnement lunaire et qui ne devaient transmettre de cette région vers la Terre que des signaux électriques ;

- la série des *Ranger* destinés à s'écraser sur la Lune après avoir transmis par télévision des images de la surface prises au cours des dernières minutes de leur chute ;

- la série des *Surveyor* conçus pour se poser « en douceur » et transmettre des données numériques aussi bien que des photographies panoramiques prises directement sur le sol lunaire ;

- la série des *Lunar Orbiter*, engins satellisés autour de la Lune et devant photo-

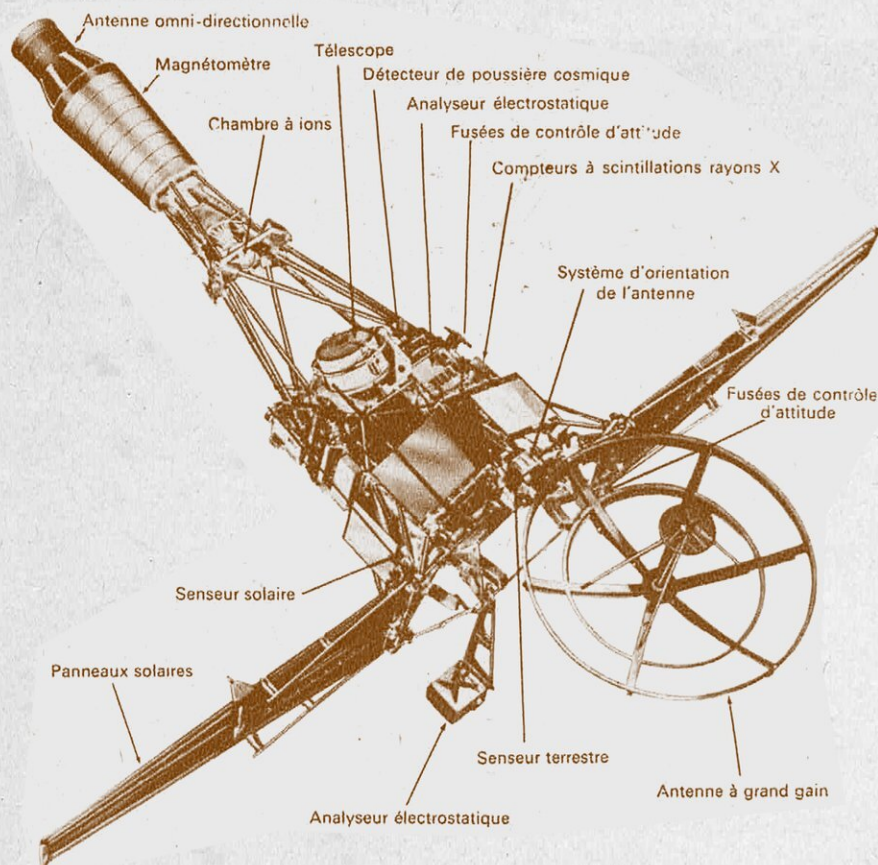
La portion éclairée de la Terre apparaît sous la forme d'un croissant en arrière-plan du sol

lunaire. C'est l'un des clichés transmis par Lunar Orbiter I satellisé autour de la Lune.

graphier sa surface à quelques dizaines de kilomètres d'altitude pour le repérage des sites propices aux futurs envois d'explorateurs humains ;

- les vols *Mercury* puis *Gemini* de capsules satellisées avec équipages en préparation du projet Apollo d'expédition lunaire proprement dite.

Le moins qu'on puisse dire est que les Américains n'eurent pas beaucoup de chance lors de leurs premières tentatives en direction de la Lune. Les échecs qu'ils enregistrèrent avec les premiers *Pioneer* doivent être attribués à la mauvaise mise au point



La constitution générale de Ranger II peut être prise comme modèle pour l'ensemble de la série. Les deux premiers Ranger n'emportaient aucun appareil de prise de vue et leur lancement fut d'ailleurs un échec complet : mal stabilisés sur leur orbite de parking, les deux engins sont retombés après quelques jours.

des lanceurs. Celui de Pioneer 0 (17 août 1958) explosa après 77 secondes de fonctionnement. Pioneer I (11 octobre 1958) s'éleva à 115 000 km et retomba en se désintégrant dans l'atmosphère. Pareille mésaventure arriva à Pioneer III (6 décembre 1958) que sa vitesse insuffisante n'amena qu'à 107 000 km. Entre temps, Pioneer II (8 novembre 1958) avait fait une vaine tentative, son troisième étage ne s'étant pas allumé. Ce fut seulement avec Pioneer IV (lancé le 3 mars 1959) que l'environnement lunaire fut atteint ; encore ne peut-on parler au mieux que d'une demi-réussite, la sonde étant passée à quelque 60 000 km de la Lune avant de devenir une planète artificielle du Soleil.

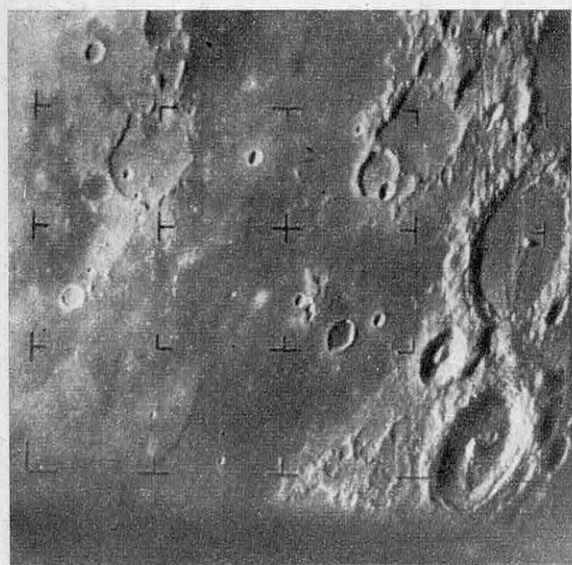
Le programme Ranger ne devait pas débuter sous de meilleurs auspices, les premiers résultats positifs n'étant obtenus qu'au septième tir.

L'étude des Ranger a commencé en 1959. Partant d'un engin spatial « classique » pour l'époque, on chercha à réaliser une plateforme stabilisée suivant les trois axes, ce qui permettait de diriger les antennes de telle sorte que le gain soit optimal pour les communications avec la Terre, d'assurer aux panneaux de cellules solaires la meilleure exposition et d'emporter des instruments scientifiques pouvant être pointés avec une grande précision, ainsi que des calculateurs permet-

tant de rectifier la trajectoire. Les lancements s'effectuaient suivant la technique des orbites d'attente inaugurée par les Soviétiques : satellisation de la fusée porteuse autour de la Terre, puis rallumage de cette fusée pour le départ vers la Lune à partir de l'orbite d'attente.

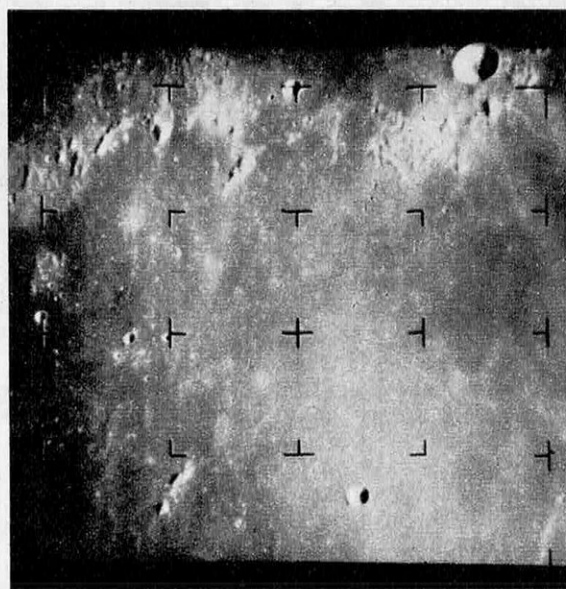
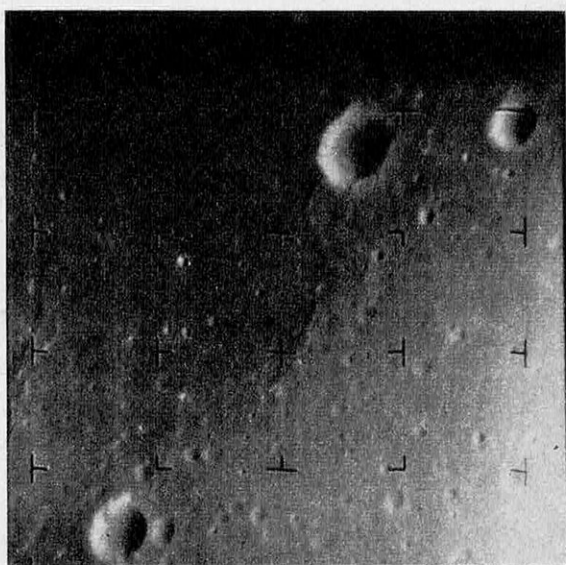
Le programme Ranger a été l'objet d'un certain nombre de changements au cours de son déroulement. A l'origine, l'engin devait seulement survoler la Lune en effectuant des observations scientifiques concernant le champ magnétique, les rayons cosmiques et l'abondance des micrométéorites à son voisinage. Puis on décida d'équiper les Ranger d'une capsule qu'on ferait tomber sur le sol lunaire, freinée par des rétrofusées. Les instruments ainsi placés sur la Lune devaient fournir des renseignements sur la physique du sol lunaire, en particulier sur d'éventuels phénomènes sismiques. On résolut enfin de ne confier aux derniers Ranger, ceux numérotés de VI à IX, que des missions photographiques, c'est-à-dire la prise de clichés au cours d'une chute non freinée suivie d'un écrasement sur le sol.

Les deux premiers Ranger, lancés respectivement les 23 août et 18 novembre 1961, furent bien placés sur une orbite d'attente à faible altitude par leur lanceur Atlas-Agena B, mais le rallumage ne put s'effectuer et ils retombèrent peu après en se dés-



Les photographies prises par Ranger VII avant son impact sur la Lune font apparaître des détails de plus en plus fins. Ci-dessus, à 1900 km d'altitude, on

voit surtout les très grands cratères; ci-dessus à droite, altitude de 490 km; ci-contre à 40 km d'altitude, on distingue des cratères de 15 mètres.



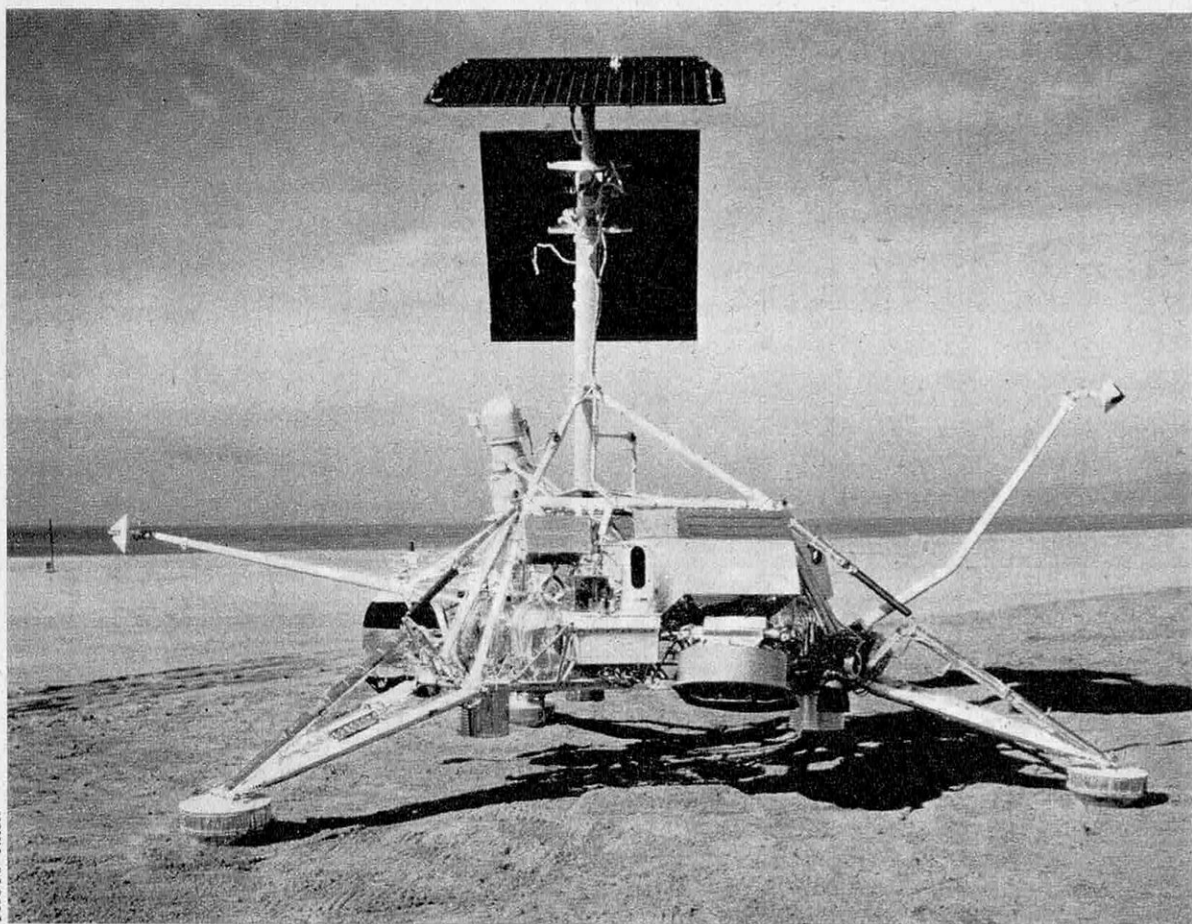
intégrant. Ranger III, lancé le 26 janvier 1962, manqua la Lune de 36 800 km. Ranger IV, lancé le 23 avril 1962, fut la première charge américaine à atteindre effectivement la Lune, s'écrasant sur sa partie cachée, mais ne fournit aucune donnée scientifique, ses instruments n'ayant pas fonctionné. Ranger V, enfin, manqua à son tour le but de 720 km. Après cette série d'échecs, d'autant plus cuisants qu'entre temps les Soviétiques accumulaient les succès dans le même domaine, le programme Ranger fut « réorienté », c'est-à-dire repris techniquement à la base. Le bilan de ces cinq premiers tirs n'était pas cependant entièrement négatif, ayant fourni nombre d'enseignements sur la stabilisation, les orbites de transfert et la correction des trajectoires en vol.

Tiré le 30 janvier 1964, Ranger VI fut mis correctement sur orbite, les corrections de trajectoire à mi-course se déroulèrent normalement et l'engin alla s'écraser sur la Lune à une trentaine de kilomètres du point d'impact prévu. La déception n'en fut que plus grande car, malheureusement, le système de télévision demeura inopérant lorsqu'on voulut l'activer, vingt minutes avant la fin du vol, et aucune image ne fut transmise.

Par contre, le succès fut complet et particulièrement spectaculaire avec Ranger VII (lancé le 28 juillet 1964) qui livra 4 316 pho-

tographies prises au cours de sa chute. Ranger VIII (lancé le 17 février 1965) et Ranger IX (lancé le 21 mars 1965) devaient en transmettre respectivement 7 137 et 5 814. Les clichés pris au-dessus de 1 500 km d'altitude couvraient une large surface lunaire avec une résolution comparable à celle obtenue par les grands télescopes terrestres. Au cours de la chute, la surface couverte se réduisait en même temps que la définition augmentait et les dernières images prises une fraction de seconde avant l'impact permettaient de distinguer des détails de l'ordre du décimètre.

Les renseignements fournis par les Ranger, pour précieux qu'ils fussent, ne portaient que sur la topographie de la Lune et l'apparence de son sol. La nature et la con-

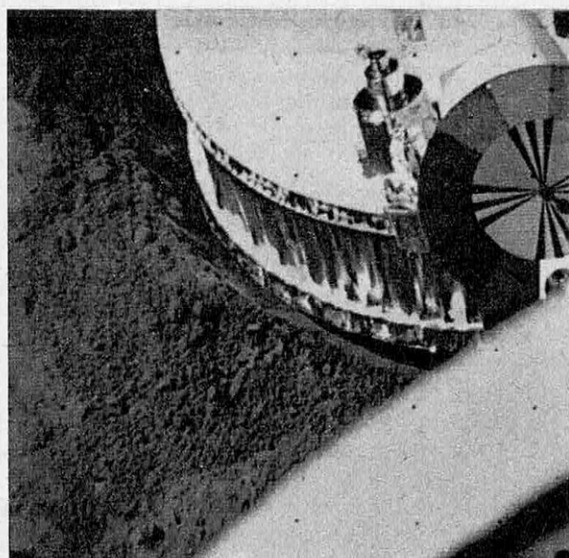
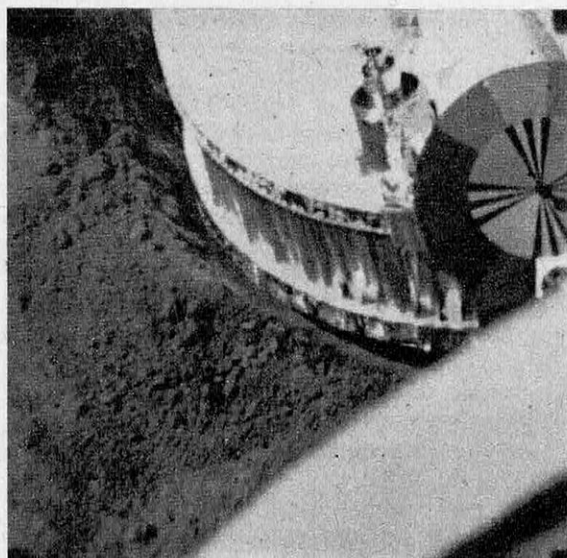


▲ Devancée de quatre mois par les Russes, la NASA parvenait le 30 mai 1966 à poser Surveyor I sur le sol de la Lune. On voit ici une réplique exacte de

la sonde, telle qu'elle se présente sur le sol lunaire après s'être débarrassée de son moteur fusée principal dans la dernière phase de sa descente.

La même photographie prise par Surveyor montrant notamment un des pieds de l'engin, telle qu'elle a été reçue par les stations au sol (à gauche) et

telle qu'elle se présente après traitement électronique: le contraste est accru et on peut distinguer des particules au diamètre d'un demi-millimètre.



sistance des matériaux qui le constituent étaient deux autres points particulièrement importants à connaître pour juger des conditions d'un futur atterrissage. Dans le programme américain, c'est aux Surveyor que revient la mission de fournir ces renseignements.

De Surveyor à Lunar Orbiter

Nous avons signalé plus haut qu'il avait été prévu que certains Ranger éjecteraient à proximité de la Lune une petite capsule porteuse d'instruments divers qu'une rétrofusée amènerait au sol à moins de 100 m/s. L'arrivée en douceur sur le sol lunaire fut confiée à un nouveau véhicule, le Surveyor.

Un tel objectif posait de nombreux problèmes, en particulier : la mise au point d'une rétrofusée capable de ramener la vitesse sur trajectoire de 2 600 m/s à moins de 100 m/s ; la mise au point de moteurs de descente, prenant le relais de la rétrofusée à quelques kilomètres d'altitude afin de prévenir un bouleversement du sol par le jet et de garantir une meilleure précision du contrôle ; enfin la mise au point d'un atterrisseur-amortisseur à hautes performances.

Retardé de plusieurs mois par le fonctionnement plus qu'aléatoire du lanceur Centaur à moteurs hydrogène et oxygène liquides, le lancement du premier Surveyor a eu lieu le 30 mai 1966. Il est d'ailleurs à noter que lors de ce tir la fusée n'était pas encore classée opérationnelle et que le réallumage du deuxième étage en vol n'était pas au point, ce qui priva les techniciens américains des avantages d'une orbite d'attente. Surveyor fut donc tiré en trajectoire directe. La précision du tir fut remarquable : sans correction à mi-course, Surveyor aurait touché le sol lunaire à 400 km seulement du point prévu. Il y parvint en fait avec 16 km d'écart à la suite de la correction à mi-course, utilisant comme points de référence pour cette manœuvre le Soleil et l'étoile Canope (pour les Ranger, les points de référence étaient le Soleil et la Terre).

En fin de fonctionnement de la rétrofusée, allumée à 84 km d'altitude, la vitesse de Surveyor I n'était plus que de 25 m/s. Les moteurs de descente n'eurent donc plus qu'un rôle mineur à jouer et c'est sans difficulté que l'engin s'est posé à une vitesse réduite à 4 m/s, presque verticalement, les amortisseurs télescopiques des jambes du train d'atterrissage absorbant les efforts à l'impact. Après 63 heures, 50 minutes et 35 secondes de vol, Surveyor s'était posé avec 3 secondes d'écart sur l'horaire. Trente-cinq minutes plus tard, la première image parve-

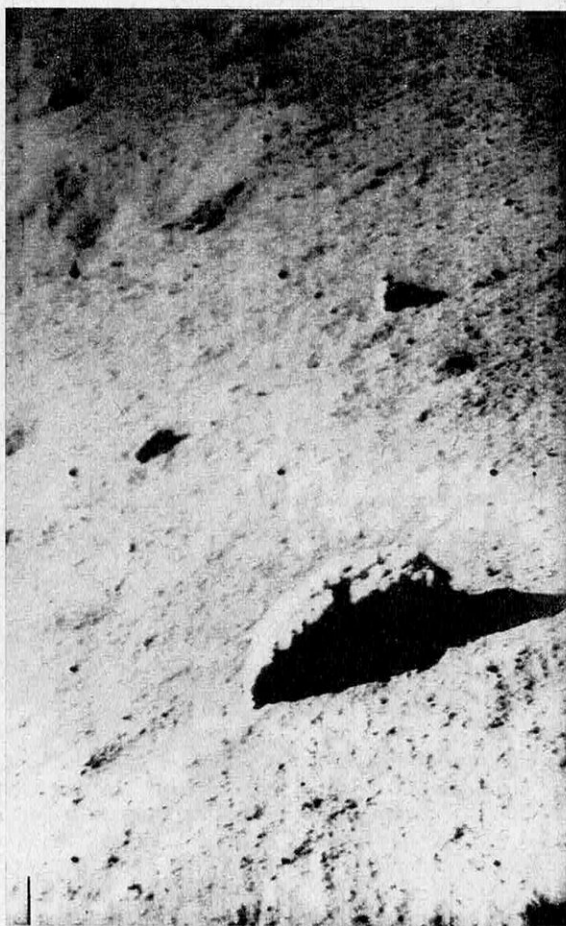


PHOTO NASA

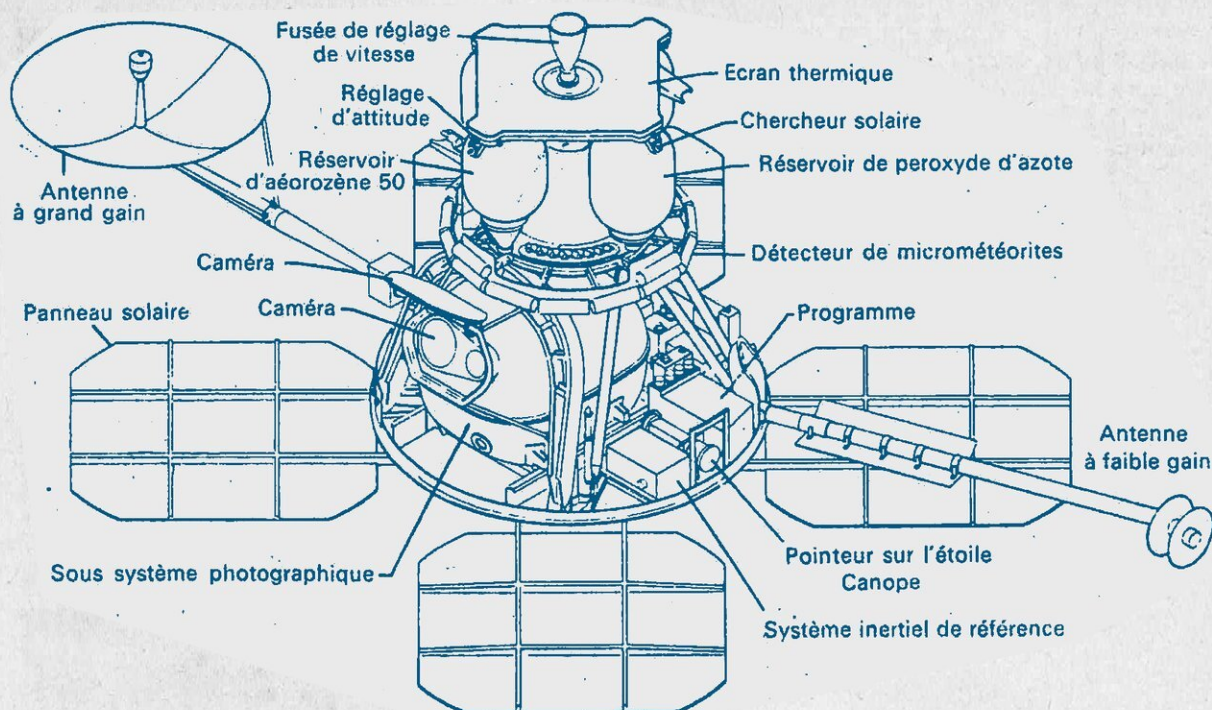
L'un des clichés à la définition de 600 lignes transmis par la sonde Surveyor quelques heures seulement après son alunissage. Le rocher qui apparaît

au premier plan de ce cliché mesurerait, d'après des estimations, environ quinze centimètres de hauteur et une trentaine de centimètres en longueur.

nait à la Terre. Reçue en Grande-Bretagne, elle fut transmise aux U.S.A. par le satellite de télécommunications Early Bird. D'autres suivirent, toutes d'excellente qualité. Grâce à un miroir tournant placé devant l'objectif de la caméra, celle-ci bénéficiait d'un champ horizontal de 360° et chaque vue fut différente de la précédente. En 24 heures, plus de 860 photos furent reçues sur Terre.

Les Américains ne s'étaient accordé qu'une chance sur quatre de réussir avec Surveyor. Non seulement ce fut la réussite, mais les résultats de l'expérience dépassèrent largement leurs espoirs les plus optimistes.

On pensait, en effet, que les équipements électroniques de Surveyor ne pourraient résister aux basses températures de la nuit lunaire qui dure 14 jours terrestres et que la 10 338^e photo transmise le 13 juin serait la



Les Lunar Orbiter sont de véritables laboratoires photographiques sur orbite : près d'un sixième de leur poids (385 kg) est constitué par des appareils de prises de vues. Après 77 jours de fonctionnement Lunar Orbiter 1 a été détruit sur commande.

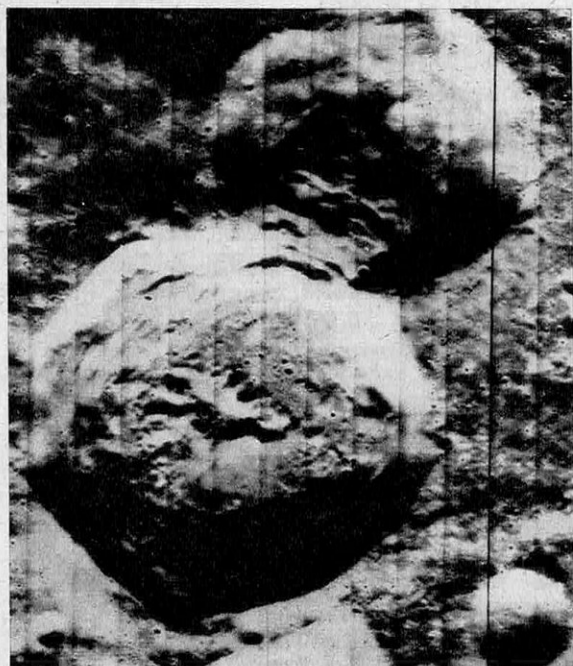
Lunar Orbiter a fait largement progresser nos connaissances sur la face cachée de la Lune. La qualité de certains documents est impressionnante : ici deux cratères de l'hémisphère sud ; le plus grand des deux cratères a un diamètre de l'ordre de 50 km.

dernière. Pourtant, à la réapparition du Soleil, les batteries se rechargèrent et Surveyor, répondant aux ordres transmis de Californie, reprit son activité le 7 juillet, envoyant 24 photos ce jour-là, puis 257 le 12 juillet et 334 le lendemain. Après le passage des nuits lunaires suivantes, Surveyor I sembla avoir perdu toute faculté de réagir aux ordres terrestres. Cependant en octobre et en novembre, on a pu recevoir de lui de faibles signaux, mais sans transmission de photos. L'envoi de renseignements sur la température à la surface de la Lune et sur le vieillissement des instruments électroniques constitue déjà une très précieuse contribution.

Surveyor II, tiré le 20 septembre dernier, devait avoir moins de chance. Sa trajectoire était bonne, mais les techniciens de la NASA souhaitèrent qu'elle fût plus précise encore. Ils firent une correction à mi-course qui n'était pas nécessaire et le blocage d'un moteur-vernier engendra un pivotement du véhicule qui ne put être annulé. Force fut, par conséquent, de détruire la sonde en vol.

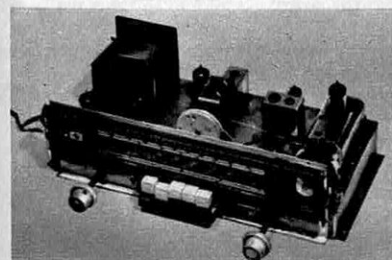
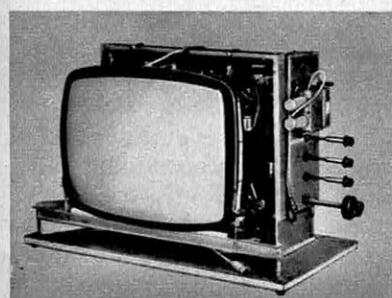
Premier satellite américain mis en orbite autour de la Lune, Lunar Orbiter I a été placé sur l'orbite lunaire la plus basse obtenue à l'heure actuelle, avec un périlune de 56 km, ramené même à 40,5 km au bout de quelques jours. Tiré le 10 août 1966, placé sur orbite le 14, il commença ses prises de vues le 18 au-dessus des sites prévus, mais avec quelques difficultés de caméras qui firent craindre pour la qualité des documents.

PHOTO USIS





Partez avec **EURELEC** à la découverte de l'électronique



Pour construire et pour diriger les cerveaux électroniques qui s'imposent déjà dans le monde moderne, on a besoin de vous. L'électronique vous offre, aujourd'hui, des horizons si vastes que vous n'aurez aucune peine à y faire votre place grâce à la formation EURELEC la plus moderne d'Europe.

Apprenez l'électronique à votre domicile

L'enseignement EURELEC... c'est non seulement pour vous la certitude de réussir, mais c'est aussi une extraordinaire expérience car les méthodes théoriques et pratiques d'EURELEC vous permettront de devenir, tout en vous distrayant, un électronicien recherché et bien rémunéré.

PROFITEZ DES GARANTIES EURELEC

- 1 Un patronage prestigieux : la CSF promoteur du procédé français de télévision en couleurs.
- 2 Une équipe de professeurs-ingénieurs qui suivront personnellement le déroulement de vos études.
- 3 Des études économiques : vous pourrez payer vos cours au fur et à mesure.
- 4 La référence enthousiaste de plus de 100.000 anciens élèves.
- 5 La délivrance d'un certificat de scolarité qui vous ouvrira de nombreuses portes.

EURELEC

INSTITUT EUROPÉEN D'ÉLECTRONIQUE



CHEZ VOUS DES TRAVAUX PRATIQUES PASSIONNANTS

En même temps que les cours théoriques, et gratuitement, EURELEC vous livre un stock important de pièces détachées que vous assemblerez vous-même. C'est ainsi que vous pourrez construire votre propre appareil qui restera bien à vous et qui vous remboursera largement du prix total de vos cours. Théorie et exercices pratiques sont indissolubles... c'est cela la supériorité d'EURELEC.

BON D'INFORMATION

A ADRESSER A
EURELEC, 21 - DIJON

Veuillez m'adresser, gratuitement, votre brochure illustrée en couleur. SC 1-250

Nom

Adresse

Profession

Pour PARIS : Hall d'information - 9, Bd Saint-Germain, PARIS 5^e

Pour le Benelux : EURELEC, 11, rue des Deux-Eglises - BRUXELLES 4

En définitive, un traitement électronique après réception donna aux photos de Lunar Orbiter la qualité nécessaire. Les renseignements fournis sur neuf points d'atterrissage envisagés pour le Lunar Excursion Module du programme Apollo seront complétés par les informations recueillies par les Lunar Orbiter suivants. Au total, Lunar Orbiter I a transmis 215 photographies de la surface lunaire, notamment dans la partie invisible de la Terre, avant d'être détruit le 29 octobre par la NASA, soucieuse de prévenir toute interférence avec Lunar Orbiter II, lancé le 7 novembre ; ce dernier a commencé à transmettre le 14 des images d'essai emportées avant le départ. Cet engin avait pour mission de photographier treize sites se trouvant dans une bande légèrement au Nord de l'équateur lunaire. L'un de ces sites, s'il se révèle particulièrement favorable, pourrait être retenu pour Apollo, d'autant que Lunar Orbiter I a montré qu'une bonne partie des surfaces d'atterrissage envisagées jusqu'ici étaient en fait impraticables.

Les premières missions lunaires du programme Apollo étant prévues pour 1968, tout laisse à penser que d'ici là de nouveaux Surveyor et Lunar Orbiter auront donné à la NASA toutes les informations qu'elle peut souhaiter.

De Mercury à Apollo

C'est le 5 octobre 1958 que fut officiellement institué le projet « Mercury » visant à placer un astronaute sur orbite autour de la Terre. Il n'était pas encore question de pro-

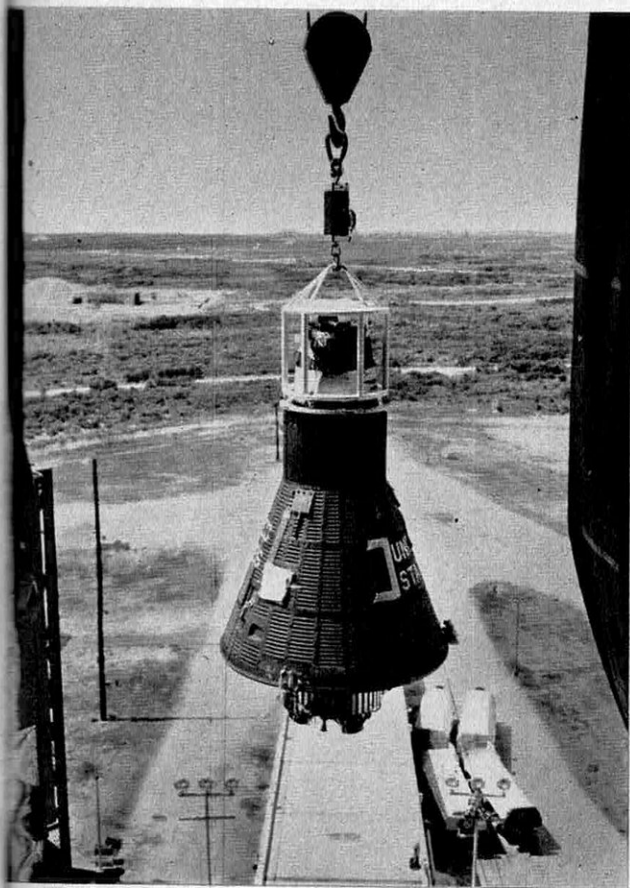
jet lunaire, mais ce programme a trouvé tout naturellement sa place en tête des recherches pour l'exploration humaine de la Lune lorsque le Président Kennedy décida de lancer son pays dans cette entreprise.

Après divers tirs de capsules vides ou emportant un singe-cobaye, le programme Mercury commença de porter ses fruits le 5 mai 1961 lorsque l'astronaute Alan Shepard Jr exécuta un vol suborbital de 15 minutes à bord de la capsule Freedom 7 (Mercury-Redstone 3) montant à 185 km d'altitude et parcourant 480 km. Trois mois plus tard, le 21 juillet, la capsule Liberty Bell 7 (Mercury-Redstone 4) emmenait Virgil Grissom pour un vol identique.

Vinrent ensuite les vols orbitaux, avec un mannequin d'abord (Mercury-Atlas 4, 13 septembre 1961, une révolution) puis avec un chimpanzé (Mercury-Atlas 5, 29 novembre 1961, deux révolutions). Dans les deux cas, la récupération se fit dans les meilleures conditions et le processus de retour sur Terre fut qualifié opérationnel, ce qui ouvrait la voie aux vols pilotés.

Le programme Mercury devait se terminer sur quatre vols orbitaux humains parfaitement réussis, ceux de John H. Glenn Jr. dans la capsule Friendship 7 (Mercury-Atlas 6, 20 février 1962, 3 révolutions), de Scott Carpenter, dans la capsule Aurora 7 (Mercury-Atlas 7, 24 mai 1962, 3 révolutions), de Walter M. Schirra Jr. dans la capsule Sigma 7 (Mercury-Atlas 8, 3 octobre 1962, 6 révolutions) et de Gordon L. Cooper Jr. dans la capsule Faith 7 (Mercury-Atlas 9, 15-16 mai 1963, 22 révolutions).

LES VOLS DU PROGRAMME MERCURY				
Mission	Astronautes	Date de lancement	Nombre de révolutions	Durée du vol
Mercury MR-III (Capsule Freedom 7)	Alan B. Shepard Jr.	5 mai 1961	Vol sub-orbital	15 mn 22 s
Mercury MR-IV (Capsule Liberty-Bell 7)	Virgil I. Grissom	21 juillet 1961	Vol sub-orbital	15 mn 37 s
Mercury MA-VI (Capsule Friendship 7)	John H. Glenn Jr.	20 février 1962	3	4 h 55 mn 23 s
Mercury MA-VII (Capsule Aurora 7)	Scott Carpenter	24 mai 1962	3	4 h 56 mn 5 s
Mercury MA-VIII (Capsule Sigma 7)	Walter M. Schirra Jr.	3 octobre 1962	6	9 h 13 mn 11 s
Mercury MA-IX (Capsule Faith 7)	L. Gordon Cooper Jr.	15 mai 1963	22	34 h 19 mn 49 s



C'est à bord de capsules Mercury semblables à celle-ci que les Américains effectuèrent leurs premiers vols orbitaux. Le program-

me qui préparait les vols Gemini devait s'achever au mois de mai 1963 sur les 22 révolutions réalisées par Gordon Cooper.

Ces vols démontrèrent que l'homme peut très bien supporter les accélérations de la mise à feu d'une fusée aussi bien que l'apesanteur pendant un jour et demi, sans être aucunement incommodé ni voir diminuer en quoi que ce soit ses capacités de contrôle de la capsule. Ils confirmèrent aussi que la présence d'un homme à bord pouvait compléter et préciser bien des résultats d'expériences scientifiques. Ils montrèrent enfin que les problèmes de nutrition étaient simples à résoudre dès lors que les aliments et les liquides étaient convenablement conditionnés.

Tous les renseignements de Mercury, en particulier ceux relatifs à la survie des astronautes au cours de vols prolongés, profitèrent directement au programme Gemini, véritable banc d'essais des techniques du voyage vers la Lune, qui s'ouvrit le 8 avril 1964 par le tir de Gemini-Titan I, mise sur orbite sans récupération d'une capsule vide.

Le premier vol piloté (GT-III, 23 mars 1965), devait confirmer les excellents résultats obtenus en début de programme. Au cours d'un vol de trois révolutions, V. Grissom et J. Young effectuèrent deux changements d'orbite et le premier changement de plan d'orbite réussit par un véhicule piloté.

Beaucoup plus ambitieux, le vol Gemini IV dura quatre jours (3/6 juin 1965) et démontra l'aptitude de l'équipage à supporter sans inconvénient de longues périodes d'apesanteur. L'aspect le plus spectaculaire de ce vol fut la sortie de 20 minutes dans l'espace de White. Le retour eut lieu à la 63^e révolution, après près de 98 heures de vol.

Une nouvelle étape importante fut franchie avec Gemini V, le second des vols de longue durée du programme. Si les manœuvres de rendez-vous prévues avec une capsule-balise larguée par la cabine elle-même durent être annulées, le reste de la sortie se déroula normalement, exception faite de petits ennuis de piles à combustible. Au cours de son vol de huit jours (21/29 août 1965), l'équipage (L.G. Cooper et C. Conrad) effectua 120 révolutions autour du globe et battit de 71 heures, avec 190 heures et 56 minutes sur orbite, le précédent record soviétique.

Gemini VI devait ensuite en principe réaliser le premier rendez-vous orbital avec un véhicule Agena lancé quelques heures avant lui. Mais l'Agena fut défaillante et force fut d'annuler le tir de Gemini. La NASA modifia immédiatement ses plans, programmant pour 1965 le troisième vol de longue durée fixé initialement au début de 1966, de telle sorte que Gemini VII puisse se trouver sur orbite lors du lancement de Gemini VI, un rendez-vous devant être alors tenté entre deux satellites pilotés. Ce vol combiné restera un des instants les plus spectaculaires du programme.

La mission de Gemini VII (équipage F. Borman et J. Lovell) dura quatorze jours. Elle était essentiellement médicale et comportait 20 expériences principales et différentes activités opérationnelles. Entre autres choses, les astronautes se dépouillèrent de leurs combinaisons pressurisées afin de juger de la différence de leur comportement.

Une première tentative de tir de Gemini VI eut lieu onze jours après le départ de Gemini VII, mais une anomalie dans le fonctionnement du lanceur exigea un nouveau délai de trois jours. Finalement, W. Schirra et T. Stafford décollèrent le 15 décembre 1965. Le rendez-vous eut lieu au cours de la quatrième révolution, 5 heures et 50 minutes après la mise à feu. Les deux équipages volèrent en formation durant près

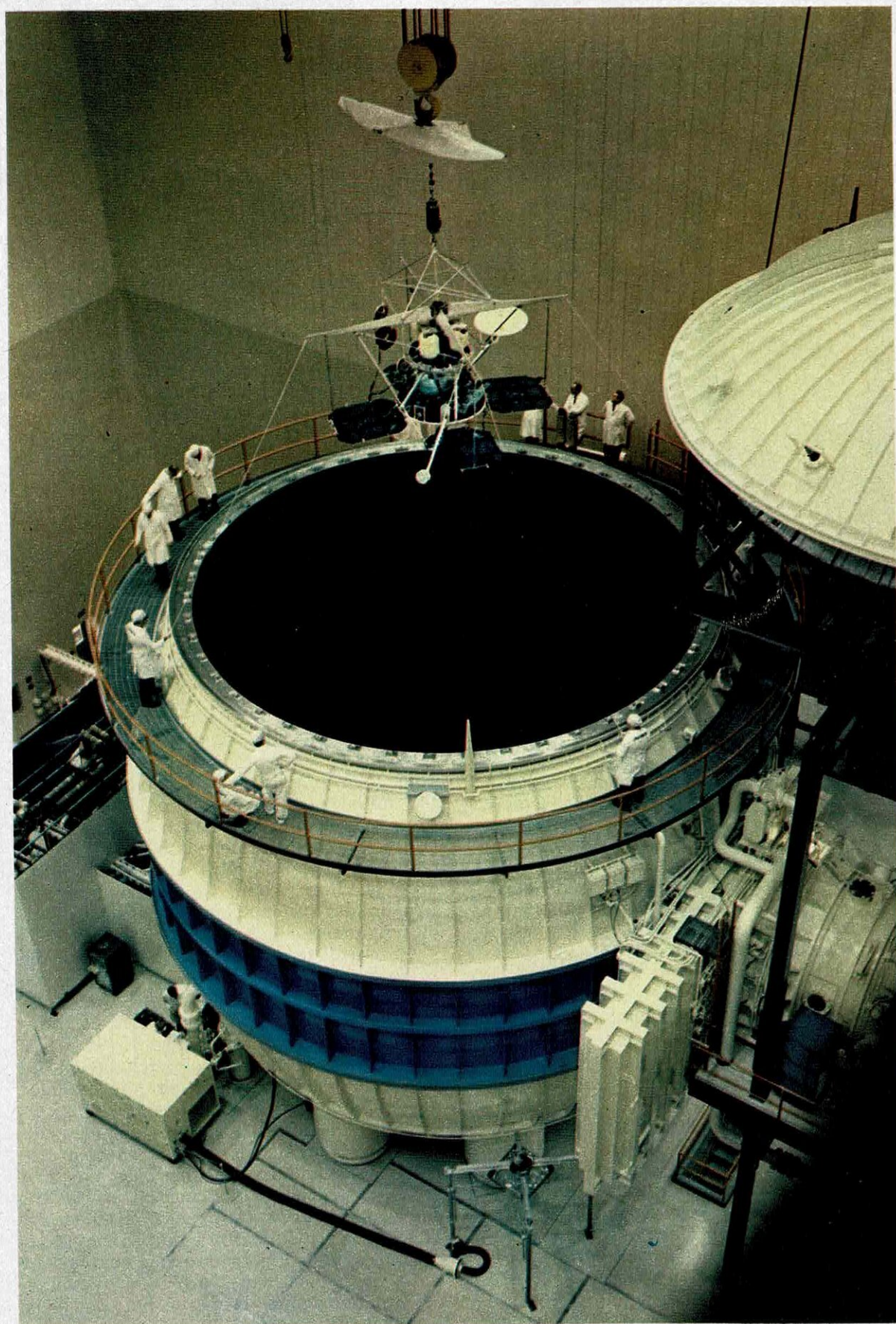


PHOTO BOEING

PHOTO JPL

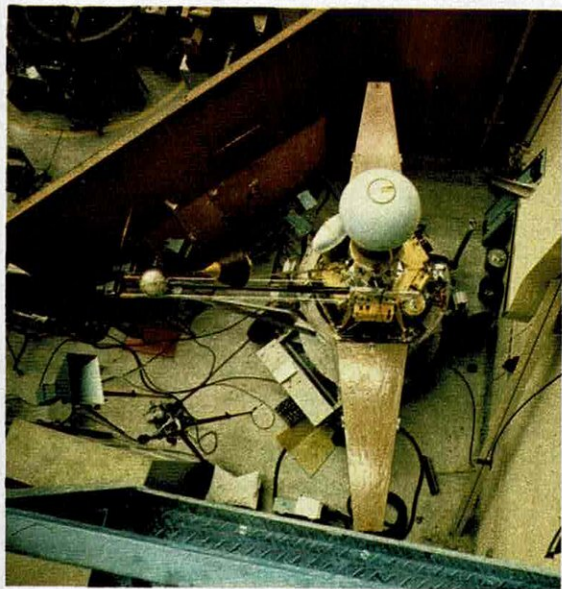


PHOTO BOEING

Phase cruciale de l'opération Lunar Orbiter, la mise à feu de la rétrofusée va ralentir l'engin

et le placer sur une orbite convenable autour de la Lune pour photographier son sol.

PHOTO JPL



Avant son lancement, la sonde automatique Lunar Orbiter I avait subi au laboratoire l'épreuve d'une chambre géante de simulation du milieu spatial.

Les Rangers (ci-dessus) furent, en 1964 et 1965, les premiers explorateurs du sol lunaire dont ils fournirent des milliers de photographies rapprochées.

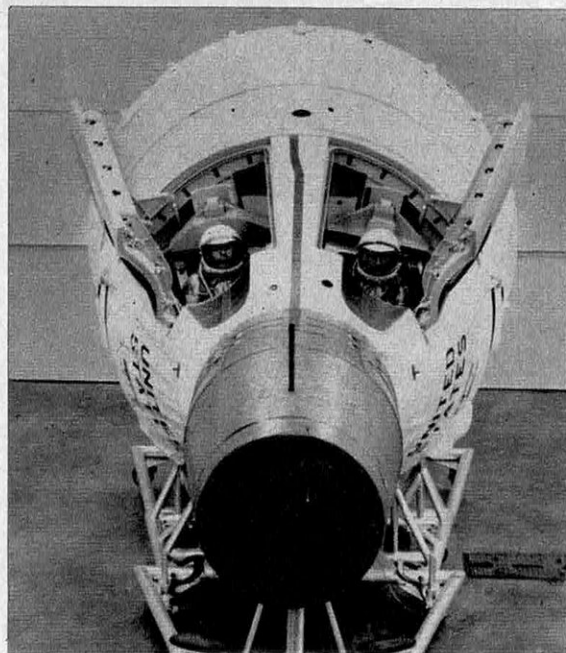
de cinq heures, de jour et de nuit, effectuant de nombreuses manœuvres et se photographiant mutuellement. Gemini VI s'approcha jusqu'à moins de 1,50 m de Gemini VII.

Les deux vols se terminèrent aussi de façon parfaitement satisfaisante, les amerrissages se faisant, au terme de rentrées pilotées, à moins de 20 km des points initialement prévus. L'équipage de Gemini VII avait franchi 8 millions de kilomètres dans l'espace en 206 révolutions, demeurant plus de 330 heures sur orbite !

Gemini VIII (16 mars 1966) fut à la fois un grand succès et un demi-échec. Grand succès, parce que ce tir vit la première réussite par N. Armstrong et D. Scott d'un rendez-vous complet de deux véhicules spatiaux entièrement indépendants : une jonction intime fut réalisée en effet avec un étage Agena lancé quelques heures plus tôt. Demi-échec, car le vol devait être considérable-

LES VOLS DU PROGRAMME GEMINI

Mission	Astronautes	Date de lancement	Nombre de révolutions	Durée du vol	Durée des sorties dans l'espace
Gemini III	Virgil I. Grissom John W. Young	23 mars 1965	3	4 h 53 mn	
Gemini IV	James A. McDivitt Edward H. White	3 juin 1965	62	97 h 56 mn 31 s	20 mn
Gemini V	L. Gordon Cooper Jr. Charles P. Conrad Jr.	21 août 1965	120	190 h 56 mn	
Gemini VII	Frank Borman James A. Lovell Jr.	4 décembre 1965	206	330 h 35 mn 17 s	
Gemini VI	Walter M. Schirra Jr. Thomas P. Stafford	15 décembre 1965	17	25 h 51 mn 43 s	
Gemini VIII	Neil A. Armstrong David R. Scott	16 mars 1966	7	10 h 42 mn 6 s	
Gemini IX	Thomas P. Stafford Eugene A. Cernan	3 juin 1966	46	72 h 21 mn 14 s	2 h 9 mn
Gemini X	John W. Young Michael Collins	18 juillet 1966	44	70 h 46 mn 45 s	58 mn, 28 mn
Gemini XI	Charles Conrad Richard F. Gordon Jr.	12 septembre 1966	45	71 h 17 mn 8 s	44 mn, 140 mn
Gemini XII	James A. Lovell Jr. Edwin Aldrin	11 novembre 1966	59	94 h 36 mn	2 h 32 mn, 2 h 13 mn, 52 mn



A bord des très complexes capsules Gemini (ci-dessus) les astronautes américains ont pu, en 1965 et 1966, mettre au point

les principales techniques du voyage Terre-Lune (changements d'orbite, manœuvres de rendez-vous et d'accostage).

ment écourté à la suite d'une défaillance de certains systèmes de pilotage. Au cours de manœuvres combinées Gemini-Agena, se produisirent en effet des mouvements désordonnés extrêmement violents qui se poursuivirent après la séparation des deux véhicules. Agena n'était pour rien dans l'affaire et réagit parfaitement aux ordres de télécommande qui déclenchèrent le rallumage de son moteur, qui la plaça finalement sur une orbite circulaire à 400 km d'altitude environ, disponible pour un rendez-vous ultérieur avec Gemini X. Le vol de Gemini VIII fut donc abrégé à six révolutions et demie, mais les astronautes furent recueillis sains et saufs dans le Pacifique.

Les différentes phases du vol Gemini IX connurent elles aussi des fortunes diverses. Après échec du lancement d'une cible Agena il fut décidé d'utiliser pour le rendez-vous une fusée ATDA (*Augmented Target Docking Adapter*) qui fut lancée le 1^{er} juin 1966. Par suite de difficultés mineures, Gemini ne partit que le 3 juin avec à son bord les astronautes Stafford et Cernan. Le rendez-vous avec l'ATDA eut lieu dans de bonnes conditions mais l'arrimage fut impossible, une partie de la coiffe de la cible ne s'étant pas détachée. Ultérieurement, deux autres

opérations de rendez-vous furent tentées et réussies par Stafford, mais sans l'aide d'aucun radar, uniquement en navigant au sextant par rapport aux étoiles.

Le 5 juin eut lieu la seconde expérience importante de ce vol, une sortie de deux heures de Cernan, qui devait tenter d'essayer le « siège pilotable » AMU (*Astronaut Manoeuvring Unit*). Cernan, rencontrant des difficultés dans la mise en œuvre de ce système, fut pris d'une très grande fatigue. Dans le même temps, le système de conditionnement de sa combinaison cessa de fonctionner normalement. L'expérience fut interrompue au bout de deux heures. Le retour, par contre, se fit dans des conditions idéales, le point d'impact prévu étant manqué de 800 mètres seulement.

Gemini X, tiré le 18 juillet 1966, devait marquer de nouveaux progrès dans le programme Gemini. M. Collins et J. Young réussissant quelques performances particulièrement spectaculaires. Tout d'abord, le rendez-vous avec la cible Agena se fit dans d'excellentes conditions, après deux changements d'orbite. Seul point noir, la consommation de carburant, très supérieure à la quantité prévue (292 kg au lieu de 100 kg !). On fut donc contraint de renoncer à certaines phases du vol et de maintenir l'accouplement entre Gemini X et la cible Agena aussi longtemps que possible, le premier pouvant actionner les moteurs du second et s'en servir pour que le couple change d'orbite, à la poursuite de cette autre Agena mise en réserve après le vol de Gemini VIII. Entre temps, Collins effectua diverses activités extravéhiculaires, d'ailleurs interrompues par des anomalies de fonctionnement des conditionneurs de sa combinaison.

Le rendez-vous avec Agena VIII eut lieu le 20 juillet, bien qu'il s'agisse d'une cible inerte, sans balise radar, sans émissions radio. Collins entreprit alors de détacher de la cible une plaque exposée depuis quatre mois au bombardement des météorites. Mais les réserves de carburant diminuant, au bout de 28 minutes l'ordre de réintégrer Gemini lui fut donné. Après 44 orbites, la rentrée intervint le 21 juillet dans d'excellentes conditions, l'amerrissage se faisant à 7 km du point prévu.

Avant-dernier vol de la série, Gemini XI a été — de loin — le plus réussi des vols spatiaux, vols soviétiques compris, se distinguant particulièrement par le nombre des expériences réalisées. Après divers retards, R. Gordon et C. Conrad sont lancés le 12 septembre, quelques minutes après la cible Agena qu'ils doivent rejoindre au cours de leur première orbite. L'objectif est atteint, la

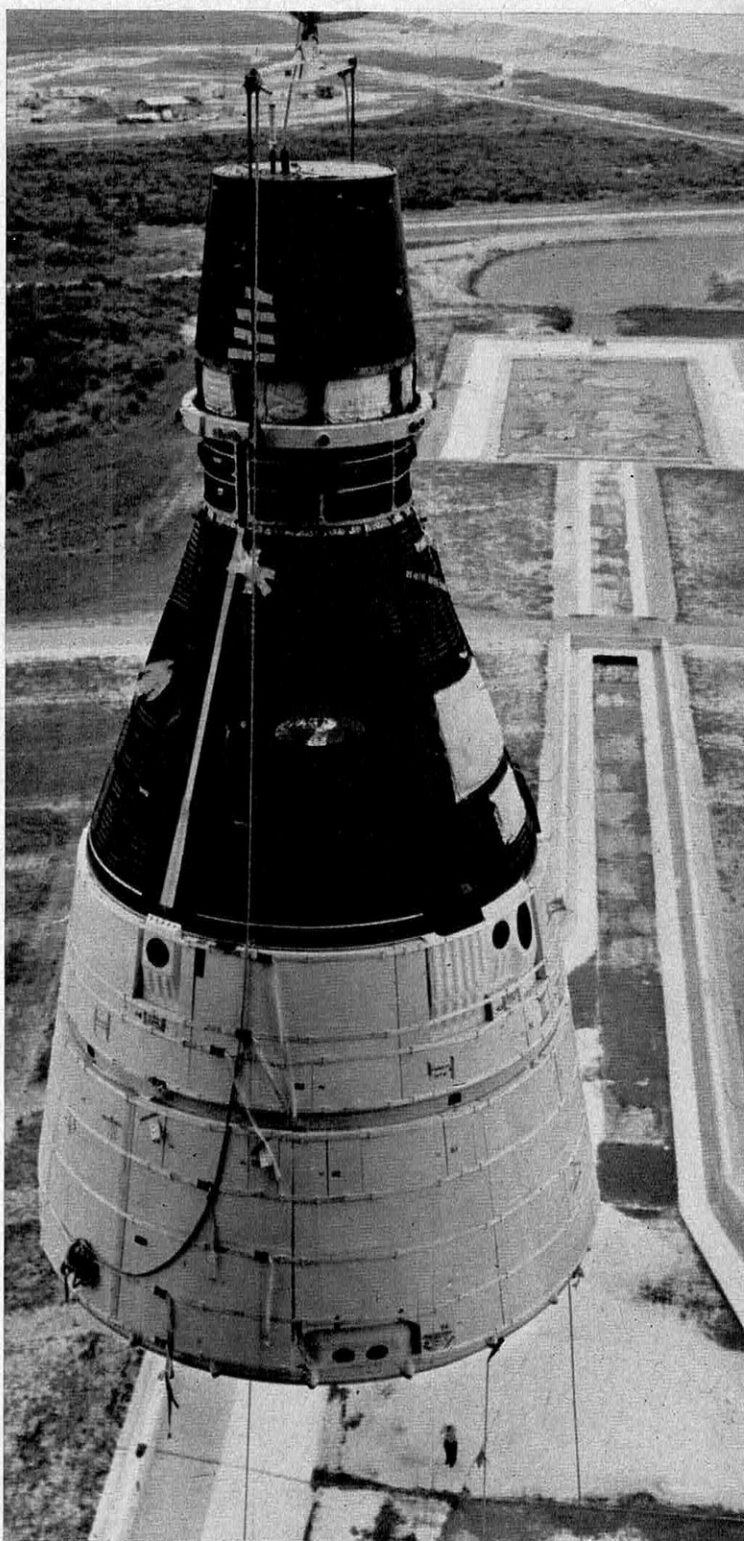


PHOTO NASA

Le premier vol Gemini avait eu lieu le 8 avril 1964, mais la capsule GT-1 (ci-dessus) n'emportait encore aucun équipage. Sa mission était d'éprouver la compatibilité des

structures du lanceur et de la capsule, qui ne fut d'ailleurs pas récupérée après le vol. Le premier vol piloté, celui des astronautes Grissom et Young, eut lieu un an plus tard.



séparation effectuée ainsi qu'un nouvel arri-mage exécuté cette fois par le copilote, trois fois de suite. Les Américains ont désormais bien en mains la technique du rendez-vous.

Au nombre des activités extravéhiculaires il faut signaler l'emploi d'un outil spatial sans réaction et la fixation d'un câble entre l'Agena et Gemini. Mais Gordon rencontre très vite de grandes difficultés de respiration, subissant une profonde fatigue. Il doit donc écourter sa sortie, se contentant de mettre le câble en place, à grand peine d'ailleurs.

Grâce au moteur de l'Agena, Gemini XI monte ensuite jusqu'à 1 367 km puis, changeant d'orbite, traverse la ceinture interne de Van Allen, sans que l'équipage souffre aucunement des radiations. Pendant deux heures, Gordon prend ensuite des séries de photos de la Terre et du ciel, ramenant de très remarquables clichés en couleurs. L'expérience la plus intéressante reste néanmoins celle destinée à créer une pesanteur artificielle par mise en rotation du tandem Agena-Gemini, aux deux bouts de leur câble de 30 m. Puis, après un ultime rendez-vous avec l'Agena, suivi d'un vol en groupe de plusieurs minutes, c'est le retour entièrement automatique vers l'océan.

Le dernier vol du programme, celui de Gemini XII, lancé le 11 novembre 1966 avec à son bord J. Lovell et E. Aldrin, a trouvé son principal intérêt dans les performances remarquables du copilote, Aldrin, au cours de ses activités extravéhiculaires.

L'expérience Gemini XII comportait, comme les précédentes, un rendez-vous avec une cible Agena préalablement mise sur orbite circulaire vers 300 km d'altitude ; il a été acquis 4 heures après le lancement et le premier accostage eut lieu une demi-heure plus tard, suivi par la suite de deux autres. Il était prévu que le couple Gemini XII - Agena change d'orbite et passe sur une nouvelle de 735 km d'apogée ; le mauvais fonctionnement du moteur de l'Agena obligea à renoncer à cette manœuvre. Il avait été aussi prévu que l'ensemble Gemini XII et Agena, reliés par un filin comme l'avaient été Gemini XI et sa cible Agena, serait mis en rotation, mais cette fois les propulseurs de la cabine demeurèrent en panne et on se contenta d'un vol en formation.

Comme au cours des vols précédents, les astronautes effectuèrent de nombreuses mesures et expériences scientifiques et prirent de multiples photographies. Ils purent en particulier photographier pour la première fois à une altitude de plusieurs centaines de kilomètres une éclipse totale de Soleil, celle du 13 novembre. A leur programme figurait aussi une expérience inédite montée en coopération avec le service d'aéronomie du Centre National de la Recherche Scientifique français : l'observation de nuages de vapeur de sodium formés artificiellement à haute altitude par deux fusées françaises Centaure mises à feu à la base de Hammaguir lorsque Gemini XII survolait le champ de tir au cours de deux orbites successives ; il

PHOTO NASA



◀ Une réplique inerte de la fusée Saturn V, montée dans le gigantesque bâtiment au premier plan, est transportée par véhicule spécial jusqu'au site de lancement à Cap Kennedy.

▶ Coucher de soleil sur le complexe 39 à Cap Kennedy baptisé Moonport par la NASA ; d'ici Saturn V va s'élancer vers la Lune dans moins de deux ans peut-être.



ne semble pas que les astronautes aient aperçu ces nuages, mais deux séries de clichés furent prises dans la direction convenable pour être étudiés au retour.

Les résultats les plus remarquables furent ceux fournis par le comportement d'Aldrin au cours de ses sorties dans l'espace dont la durée battit tous les records. La première fut une sortie partielle, l'astronaute demeurant debout sur son siège pendant 2 heures 32 minutes, l'écouille ouverte, prenant des photographies et effectuant divers exercices pour des mesures physiologiques. La seconde, qui dura 2 heures 13 minutes, fut une sortie totale où Aldrin accomplit ponctuellement toute une série de tâches prévues par les spécialistes de la NASA : déplacement sans système propulsif le long de

Essais de résistance à la chaleur et aux basses températures du module de commande Apollo. Une moitié (ci-dessus) est portée à 315°, l'autre

est douchée à l'azote liquide à -195° . On simule ainsi les températures extrêmes que rencontrera la capsule dans les différentes phases de son voyage.

la cabine en s'aidant de barres d'appui, pose d'une barre entre la cabine et la cible Agena, installation d'un filin entre elles, travaux divers de « bricolage » tels que visser et dévisser des écrous, établir des connexions électriques, etc. A aucun moment Aldrin n'éprouva l'intense fatigue de ses prédécesseurs, son rythme cardiaque demeura dans les normes et il ne manifesta aucune tension nerveuse, gardant le souci constant

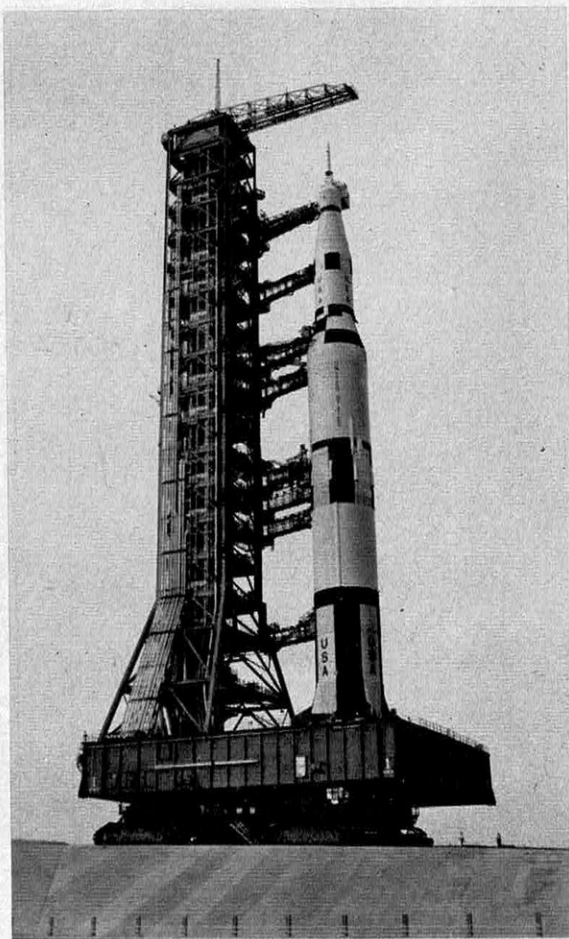
d'économiser ses forces et démontrant qu'en dosant ses efforts et observant les périodes de repos nécessaires, un homme est capable d'effectuer un travail physique en état d'apesanteur, ce dont avaient pu faire douter les expériences des vols précédents. Après une dernière sortie partielle d'Aldrin pendant 52 minutes, les astronautes mirent leurs rétrofusées en action et effectuèrent leur rentrée suivant la procédure désormais classique, avec amerrissage dans l'Atlantique à 3,2 km du point prévu.

Tel fut le programme Gemini qui, mis à part quelques incidents mineurs, laisse un bilan très positif. L'expérience ainsi accumulée ouvre largement la voie au projet Apollo de débarquement lunaire.

Le projet Apollo

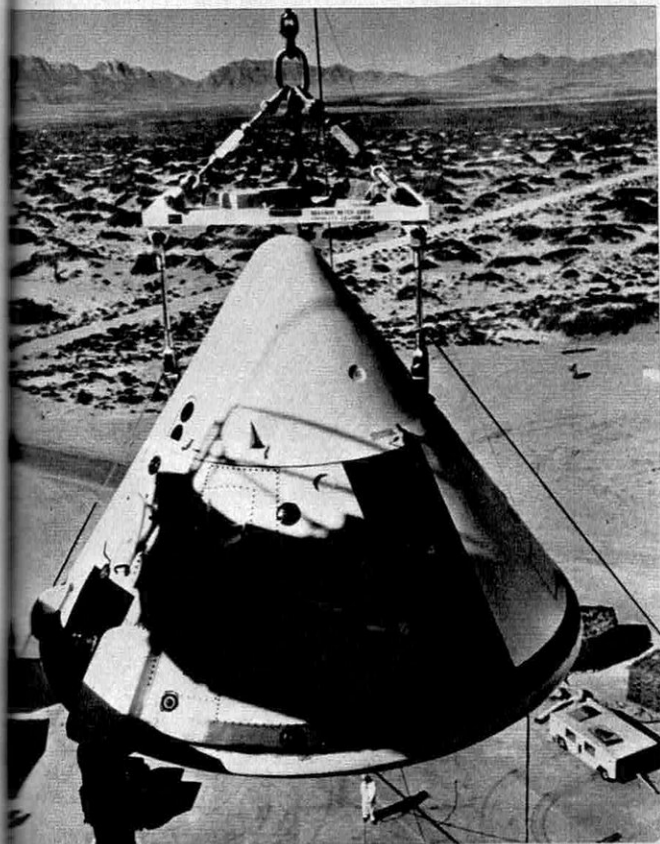
Pour conduire leurs astronautes sur la Lune, les Etats-Unis ont choisi une voie qui ne paraît peut-être pas la plus simple, mais qui est certainement la plus sûre dans l'état actuel de la technique des lanceurs.

Trois possibilités pouvaient être envisagées : tir direct Terre-Lune et retour, exigeant un lanceur de proportions jusqu'ici inconnues ; tir lunaire au départ d'une orbite terrestre ; mise sur orbite lunaire puis excursion au sol à l'aide d'un véhicule spécia-



Le module de commande du véhicule Apollo a déjà subi plusieurs essais en vol. En février 1966, il a effectué un bond balistique de 8 000 km (40 minutes) suivi de sa récupération.

L'ensemble constitué par la fusée géante Saturn V (avec le véhicule Apollo) et la tour de lancement, que l'on peut voir ici juchées sur une plateforme mobile, atteint presque 8 000 tonnes.

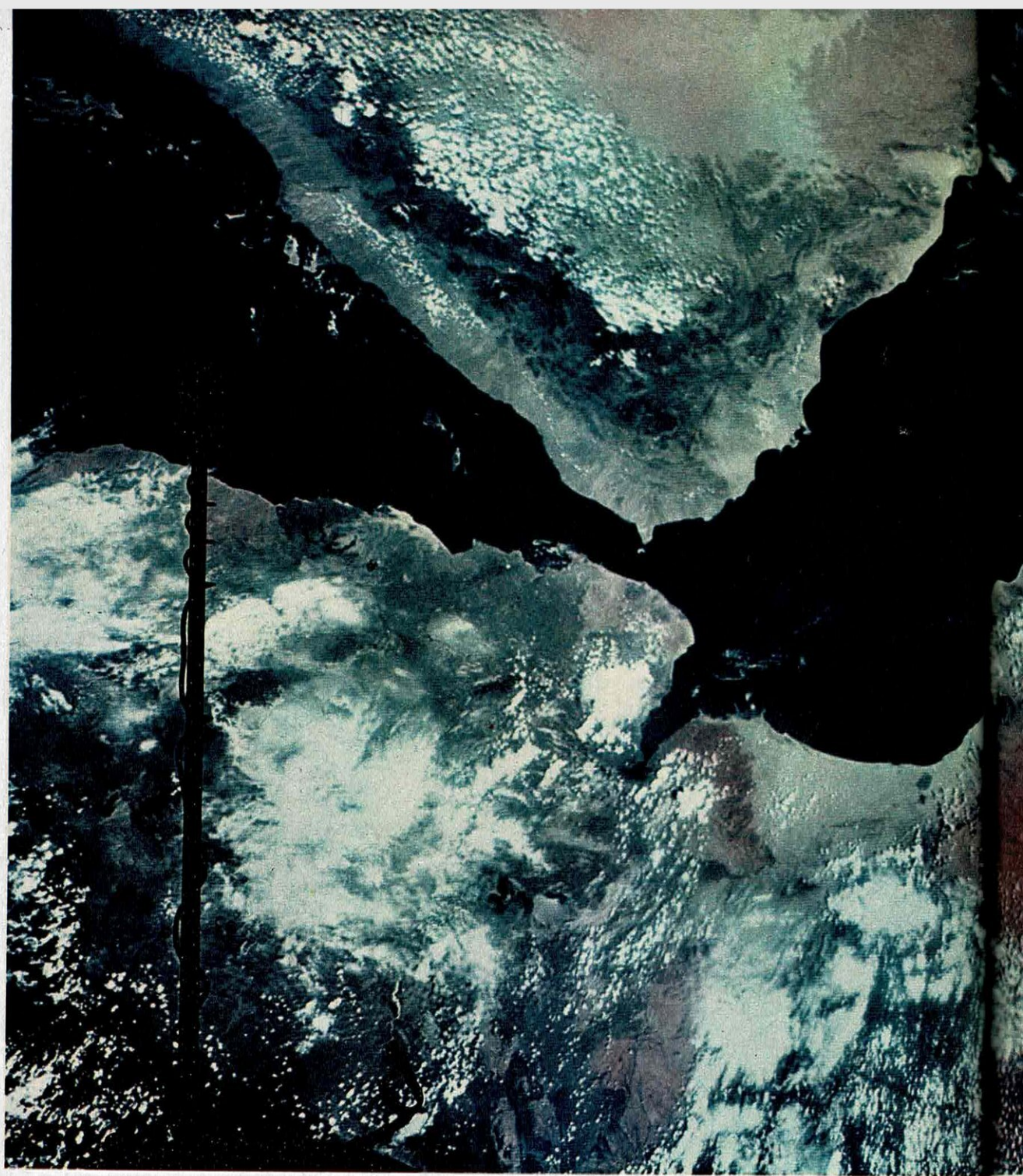


lisé suivie d'un rendez-vous sur l'orbite lunaire et du vol de retour vers la Terre.

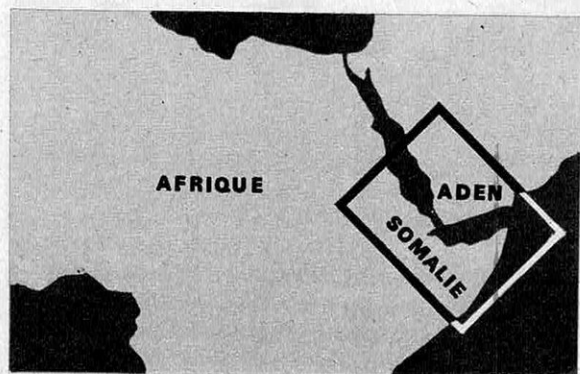
En dépit des difficultés du rendez-vous spatial, c'est finalement cette troisième solution qui a été retenue.

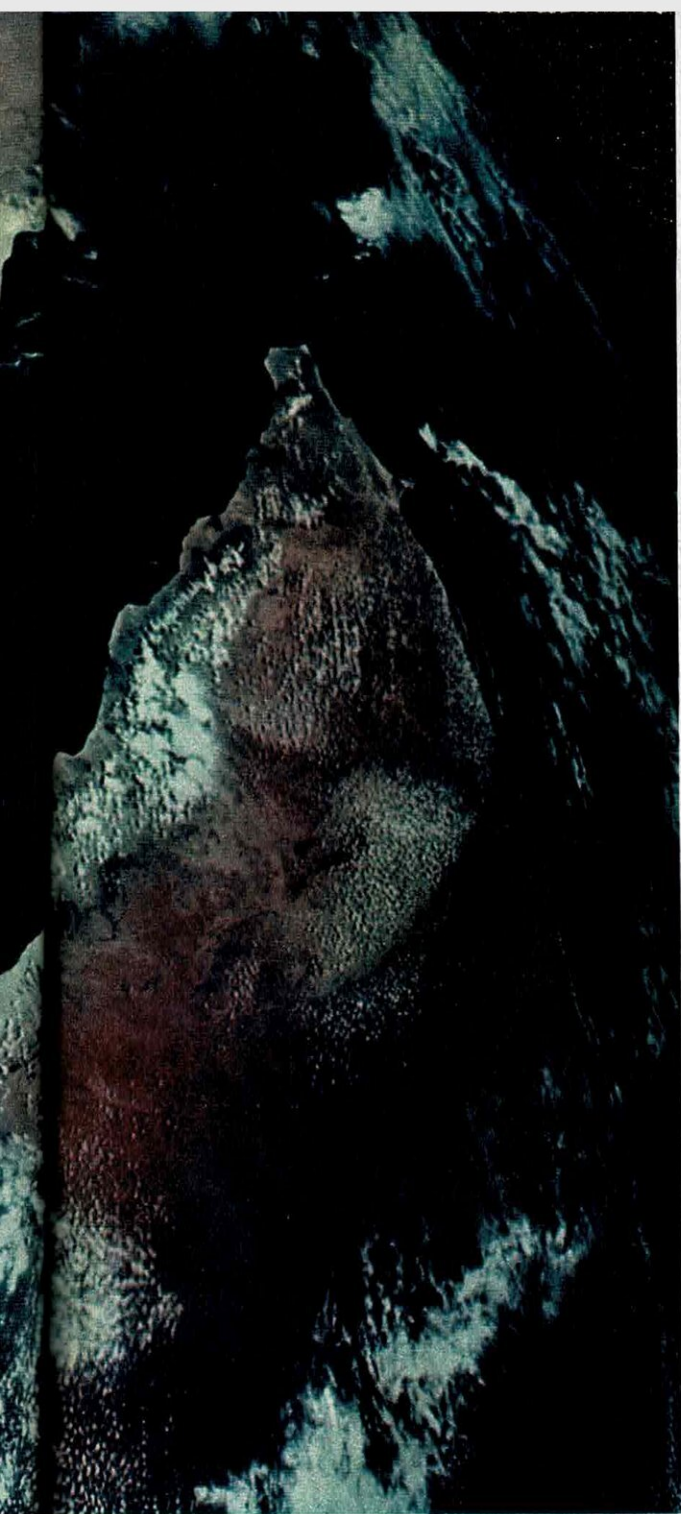
Les études sont maintenant assez avancées pour qu'on puisse donner de façon précise le déroulement du vol Apollo.

Le tir sera confié à une fusée géante Saturn V de 120 mètres de haut, pesant environ 2 760 tonnes à la mise à feu et fournissant une poussée de 3 400 tonnes. Pour l'assemblage de ce « monstre », le plus grand bâtiment du monde a été monté à Cap Kennedy. Assemblée et testée à l'abri, la fusée sera ensuite transportée au pas de tir par le plus grand véhicule jamais construit, une plate-forme portée par huit tracteurs.



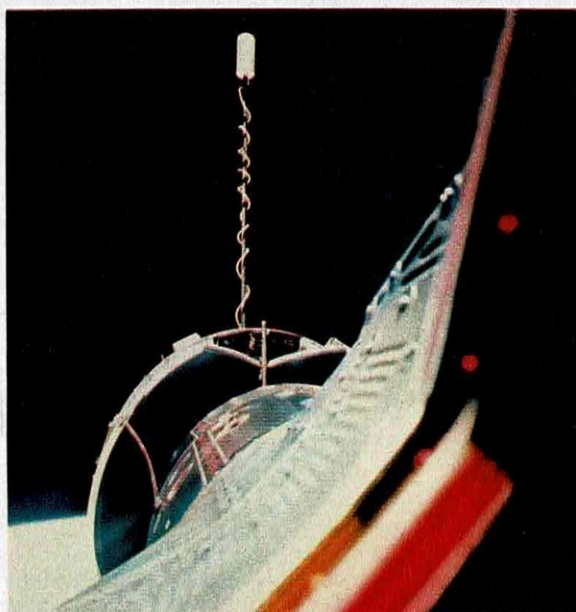
A la mise à feu des cinq moteurs Rocketdyne F-1 du premier étage Boeing S-IC, le kérosène et l'oxygène liquide seront engloutis au rythme de 15 tonnes à la seconde ! En moins de deux minutes de fonctionnement, le premier étage aura consommé 2 100 tonnes de combustibles. A environ 50 km d'altitude, le premier étage se détachera et le second étage North-American S-II à hydrogène liquide prendra le relais. Ses cinq moteurs Rocketdyne J-2 fourniront alors 454 tonnes de poussée. A 160 km d'altitude, l'allumage du troisième étage Dou-





▲ Au cours du vol Gemini XI (12-15 septembre 1966) le copilote Richard F. Gordon a réalisé de nombreuses prises de vues de la surface terrestre : on voit ici, photographiés d'une altitude de 870 km environ la mer Rouge et le golfe d'Aden bordés par l'Arabie et par les côtes africaines des Somalis.

► L'astronaute Edwin Aldrin, copilote de Gemini XII, dernier vol de la série, a effectué une longue série de travaux dans l'espace ; sur le document ci-contre, on le voit quittant la cabine pour aller fixer un filin entre la cible Agena et la cabine de Gemini, en vue d'une expérience de gravité artificielle.



▲ A travers son hublot, le commandant de bord John Young a photographié l'arrimage de

la cabine spatiale Gemini X et de la cible Agena 10 surmontée de son antenne spirale.



glas S-IVB (un moteur J-2) placera le véhicule spatial sur orbite terrestre et, ce résultat atteint, le moteur sera éteint.

Pendant le temps de deux ou trois orbites, les stations au sol calculeront le point de réallumage du moteur de S-IVB qui aura pour mission de donner au véhicule spatial la vitesse de libération (40 000 km/h) permettant de quitter l'orbite terrestre et de commencer le voyage de 70 heures vers la Lune.

Le véhicule spatial comprendra alors :

- l'étage S-IVB porteur, à son sommet, dans une jupe éjectable, du véhicule d'excursion lunaire replié ;

- le Service Module, comprenant le mo-

Essais du système de secours du module de commandement : en cas d'incident au départ, la capsule sera

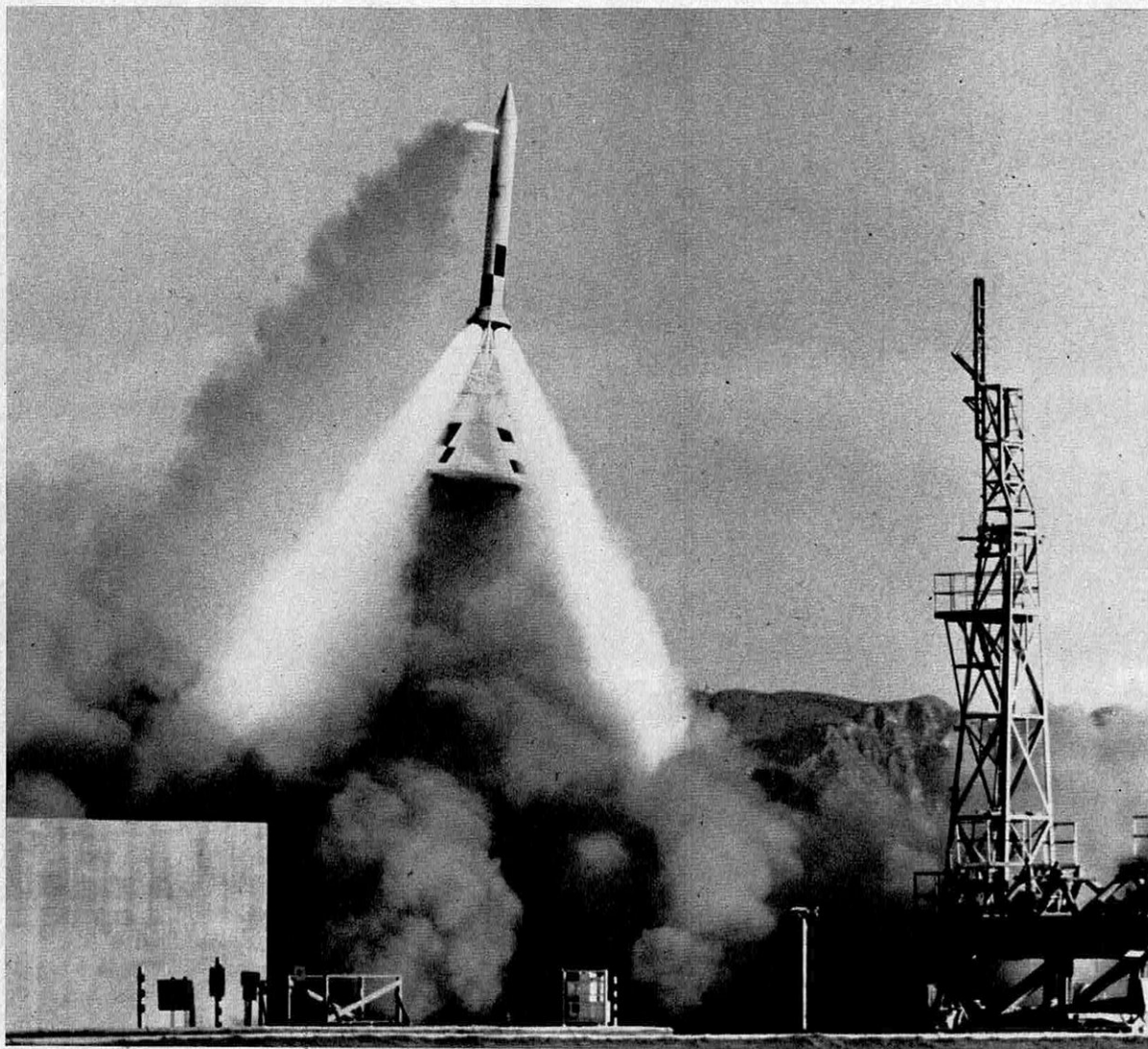
séparée du lanceur par mise à feu d'une fusée à poudre, une petite fusée auxiliaire déviant sa trajectoire.

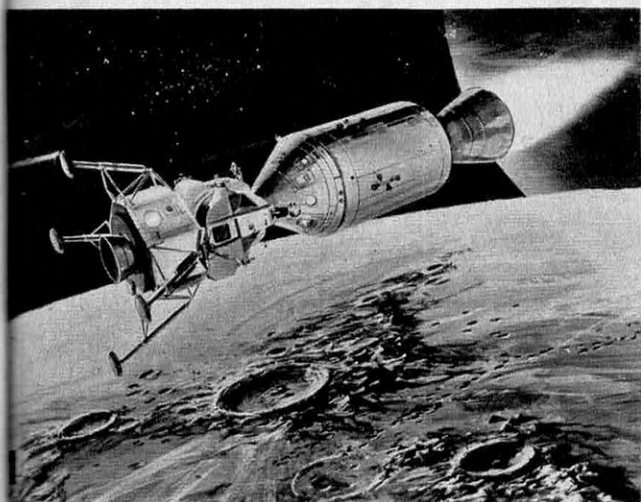
teur principal du voyage de retour vers la Terre, les piles à combustible, et de nombreux autres équipements ;

- le Command Module, c'est-à-dire la capsule Apollo elle-même, volume conique contenant l'équipage de trois hommes.

Avant d'atteindre le voisinage de la Lune, l'équipage aura une tâche délicate à accomplir : après s'être dégagés de l'étage S-IVB, les astronautes devront faire pivoter l'ensemble Service/Command Module de 180°, de telle sorte qu'après arrimage, l'avant de la capsule soit solidaire du Lunar Excursion Module préalablement dégagé de ses capotages.

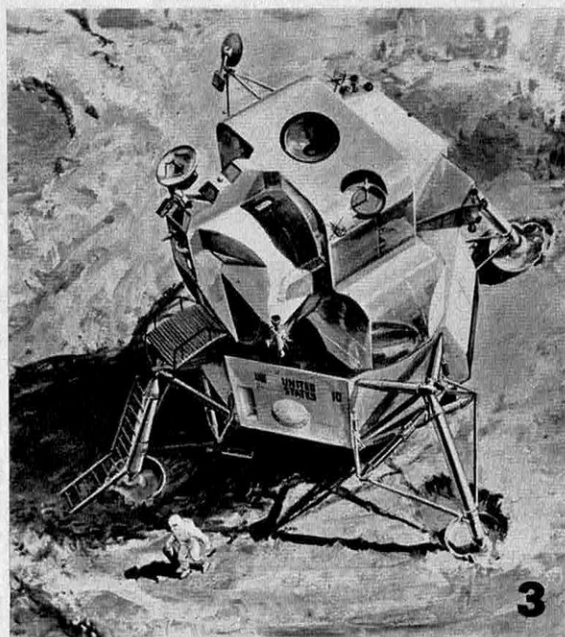
Au cours du vol de tranfert de près de trois jours, le moteur du Service Module sera utilisé pour des corrections de trajectoire de telle sorte que l'interception de la Lune se fasse au point le plus favorable. L'équipage aura tout le temps de calculer le moment d'allumer le moteur du Service Mo-





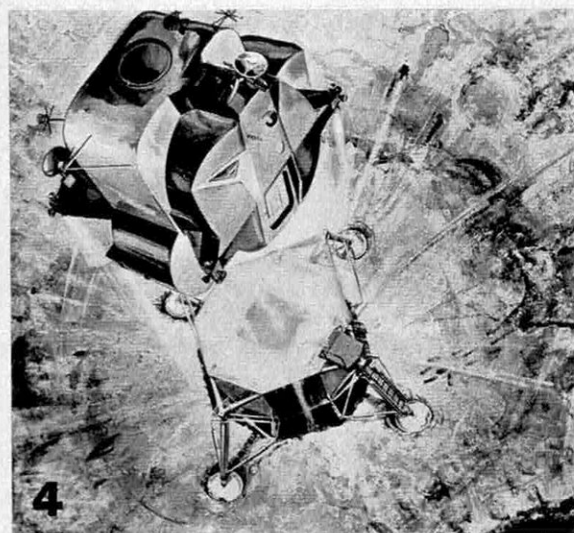
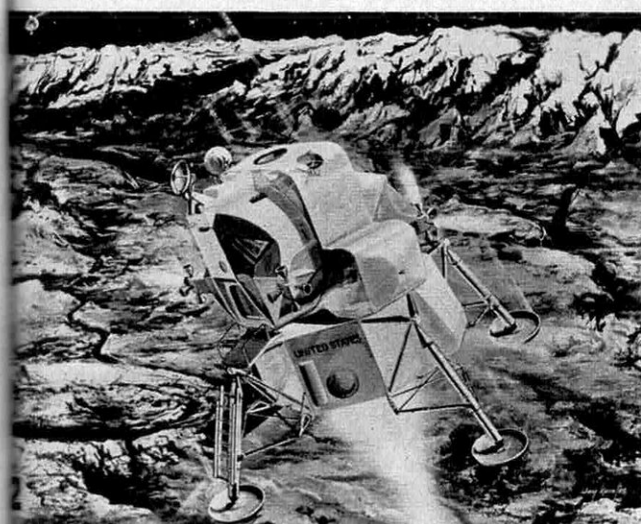
▲ Après séparation du troisième étage, la mise à feu du moteur-fusée principal place

l'ensemble module de service, de commandement et d'exploration sur orbite lunaire.



◀ Freiné par son moteur-fusée, le module d'exploration aborde le sol lunaire. Un train de quatre jambes télescopiques avec patins amortisseurs lui permet de prendre le contact sans dommage avec ses deux passagers.

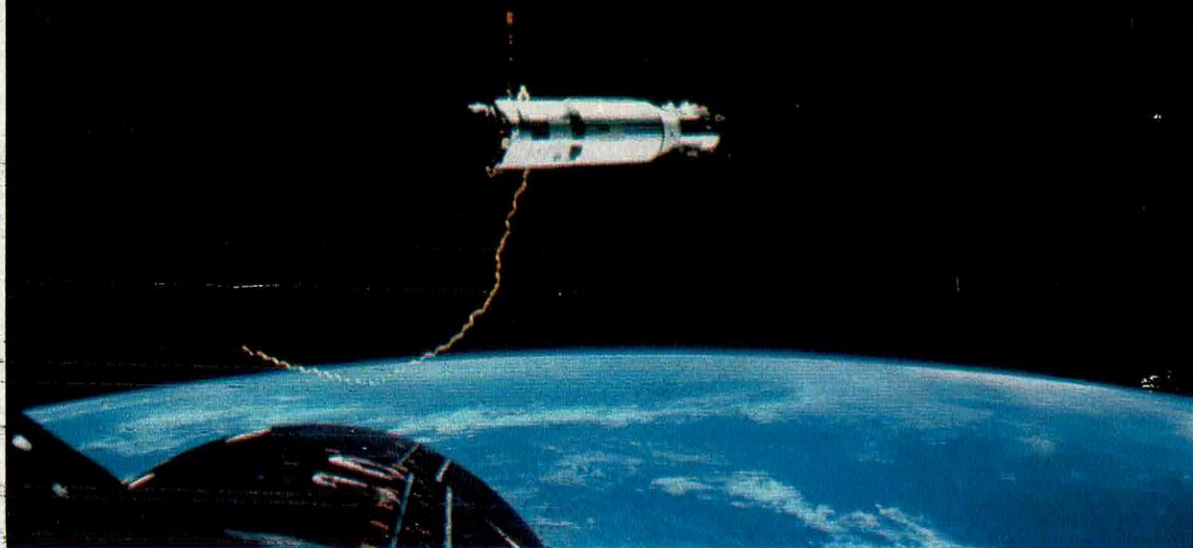
▲ Les moteurs sont maintenant éteints et le module d'exploration repose solidement sur le sol de la Lune. Revêtu de sa combinaison spéciale, un membre de l'équipage va collecter des échantillons de roches.



◀ La première mission d'exploration est terminée. Le module de montée allume son moteur-fusée, abandonnant le module de descente sur la Lune.

▲ Le module de montée va rejoindre le véhicule Apollo demeuré sur son orbite lunaire, et qui sera chargé de ramener sur la Terre les trois astronautes.





Après une séance de «manège spatial» (création d'un champ de gravité artificiel) l'étage-cible Agena

s'écarte de la cabine Gemini XI entraînant avec lui le câble en dacron qui avait rattaché les deux engins.

dule qui, agissant comme une rétrofusée, ralentira le véhicule et le placera sur une orbite circulaire à environ 130 km de la Lune.

Lorsque, par petites corrections successives, la bonne orbite aura été atteinte, deux des astronautes passeront par un sas dans le LEM (Lunar Excursion Module) qui se détachera et viendra se poser sur la Lune, freiné par l'un de ses moteurs.

Portant une combinaison spéciale, l'un des deux astronautes descendra sur la surface lunaire pour effectuer divers travaux et prélever des échantillons de roches. Ses activités seront retransmises par télévision.

Il laissera derrière lui sur la Lune plusieurs dispositifs expérimentaux, pesant ensemble une soixantaine de kilogrammes et qui effectueront des observations diverses : sismomètre, magnétomètre, spectromètre, détecteur de particules du vent solaire, dispositif pour la mesure du courant thermique parvenant du centre de la Lune. Ces appareils devraient avoir une vie utile de six

mois à un an, temps pendant lequel leurs informations seront transmises à la Terre.

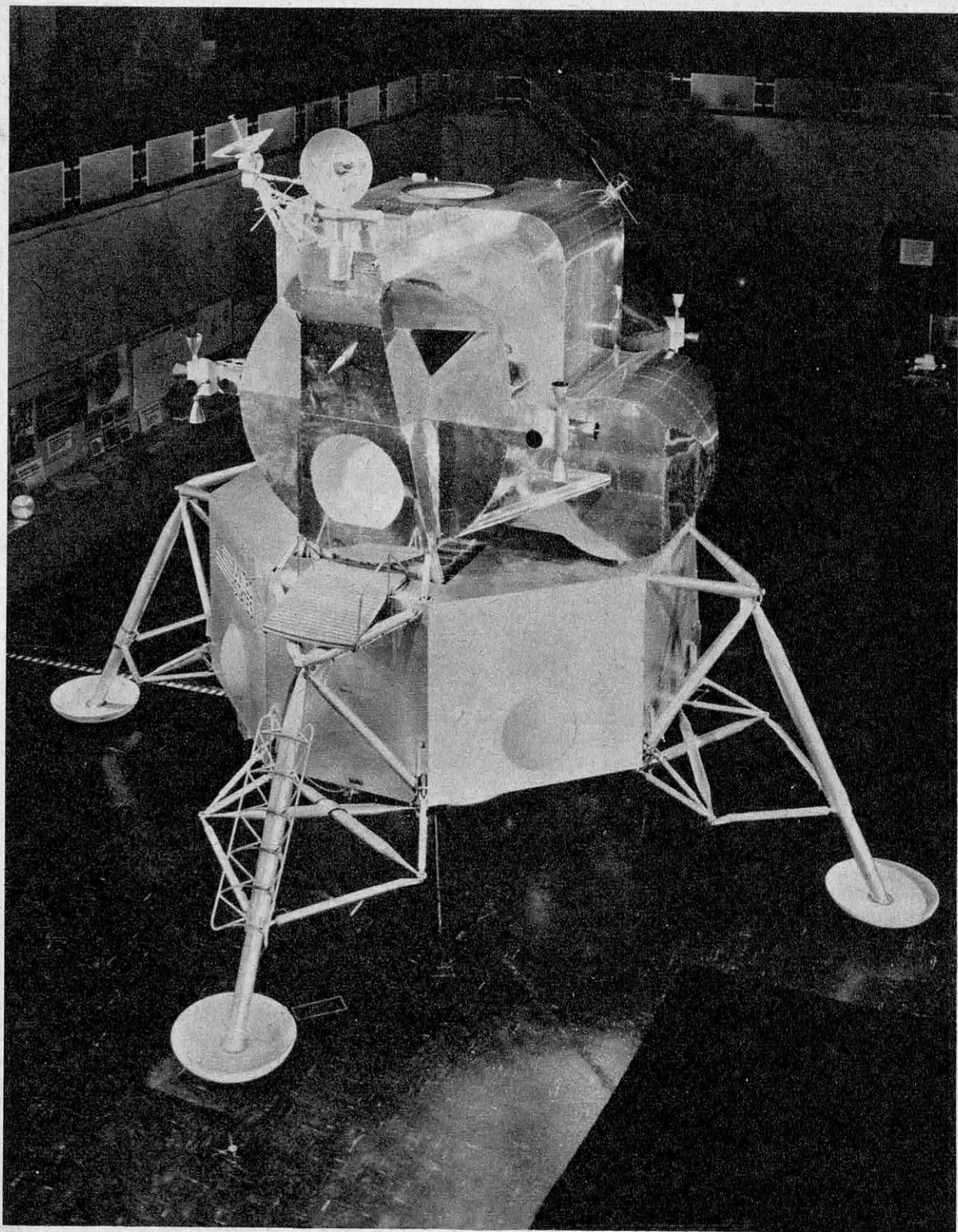
Le voyage de retour commencera par la mise à feu du second moteur du LEM qui laissera derrière lui son moteur de descente, ses réservoirs et les jambes d'atterrissage, l'ensemble servant d'ailleurs de plate-forme de départ.

Le LEM opérera sa jonction avec le Command Module demeuré sur orbite lunaire, puis, le rendez-vous assuré, les deux astronautes rejoindront leur troisième collègue.

Le LEM désormais inutile étant largué sur orbite lunaire, le moteur du Service Module sera allumé. La gravité sur la Lune étant le 1/6^e de celle de la Terre, ce moteur suffira pour arracher les astronautes à l'attraction lunaire. Sous l'effet de l'attraction terrestre, la vitesse initiale de 8 000 km/h passera à 50 000 km/h au bout des 60 heures de voyage.

La rentrée dans l'atmosphère, commencée à 120 km d'altitude, devra se faire à l'intérieur d'un corridor de 60 km de large. Aucune rétrofusée ne sera utilisée, la friction de l'atmosphère suffisant pour assurer le ralentissement. Une fois la descente bien engagée, le Service Module sera largué à son tour.

La capsule sera pilotable grâce à des jets

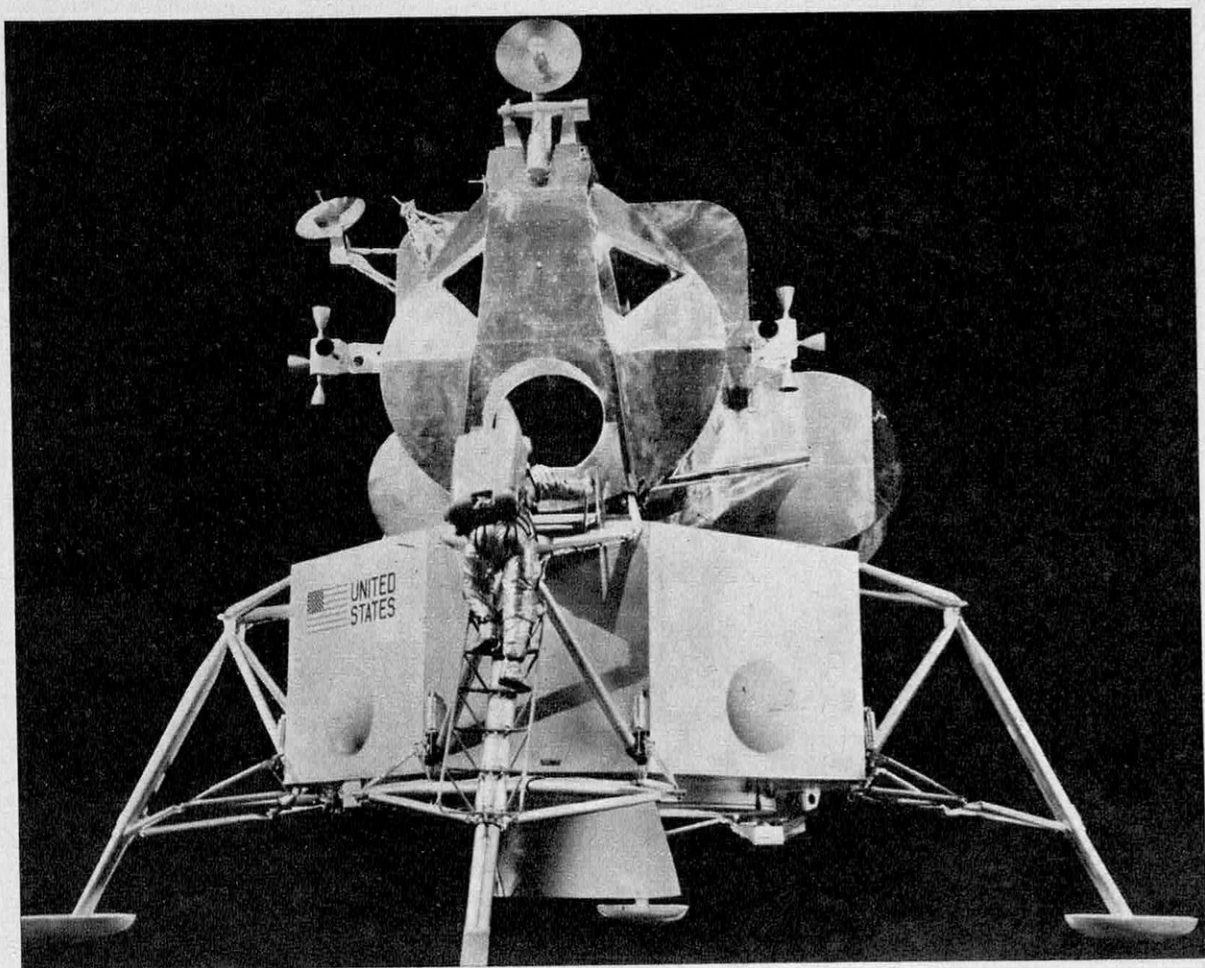


périphériques tandis que son bouclier thermique, porté à plus de 2 500°, donnera une certaine portance. Le commandant de bord pourra donc contrôler réellement son amerrissage qui se fera à l'aide de parachutes ouverts à 5 000 m d'altitude.

Tel sera le déroulement d'un vol Apollo.

Sur cette maquette du module d'exploration, on distingue nettement les deux parties principales : module de descente et module de montée, de forme

beaucoup plus tourmentée. Les alliages de magnésium seront largement employés dans la construction de l'engin définitif pour économiser du poids.



Un sas circulaire permettra aux astronautes après dépressurisation de la cabine de descendre sur le sol de la Lune. Une échelle d'aluminium fixée le long

d'un des pieds de l'engin facilitera l'opération. L'astronaute représenté ici porte sur le dos un équipement individuel de survie dans le vide spatial.

Où en sommes-nous actuellement de la préparation du vol ?

Sur le plan des lanceurs, après les dix tirs — tous parfaitement satisfaisants — de Saturn I, on aborde maintenant les essais de Saturn IB ou « uprated Saturn » (Saturn de poussée accrue), destiné essentiellement à la mise au point de son deuxième étage S-IVB qui sera le troisième étage de Saturn V, les problèmes posés par l'emploi de l'hydrogène liquide n'étant pas encore tous résolus. Le premier tir d'une capsule Apollo vide a ainsi eu lieu en février 1966.

Outre les essais de l'étage S-IV, les tirs de uprated Saturn ont pour buts :

- de mener à bien le développement des Command Module et Service Module de première version, correspondant aux vols préparatoires circumterrestres ;

- d'ébaucher la mise au point du Lunar Excursion Module ;

- de mettre à l'épreuve les Command Module et Service Module de deuxième version, associés au LEM au cours de vols pilotés sur orbite terrestre d'une durée pouvant atteindre quatorze jours.

D'autre part, des essais ont été menés à bien, qui ont démontré l'efficacité du système de sauvetage pouvant intervenir lors du lancement, de même que les dispositifs de récupération.

Comme le premier tir de Saturn IB, le troisième a comporté une étude de la rentrée dans l'atmosphère de la capsule Apollo pour laquelle des problèmes inédits se posent du fait de sa vitesse très supérieure à celle des Mercury et Gemini.

Prévu pour le début de décembre 1966, le premier vol orbital d'une capsule Apollo pilotée (vol Apollo-Saturn 204 ou AS-204) a été reculé de deux mois au moins à la suite d'ennuis avec certains équipements du système de contrôle d'environnement et avec les réservoirs de carburant du Service Module. Le vol AS-205, essentiellement une répétition de l'AS-204 à l'origine, a été reculé

et remplacé par le vol AS-206, un vol sans pilote du module lunaire.

Le vol suivant verra deux tirs de uprated Saturn à environ un jour d'intervalle, le premier porteur d'un Service Module et d'un Command Module habités, le second d'un module lunaire vide. Un rendez-vous sera tenté et, s'il réussit, les astronautes passeront d'un véhicule dans l'autre afin de vérifier les conditions de pilotage du véhicule d'excursion lunaire. Cette mission sera connue sous le numéro AS-205-208.

Prévue aussi pour le courant de 1967, la troisième phase sera une extension de la deuxième phase en vue de se familiariser avec le LEM et avec l'opération délicate de pivotement sur l'orbite.

De plus, ces deux phases seront mises à profit pour de nombreuses expériences d'activités extravéhiculaires.

La quatrième phase consistera en la mise à feu de deux fusées Saturn V, la capsule étant pilotée par un « équipage électronique » pour la rentrée dans l'atmosphère.

Au début de 1968, pour la première fois, tous les éléments du véhicule lunaire seront réunis (cinquième phase). Toutes les expériences précédentes seront répétées par les équipages sur des orbites hautes, de l'ordre de 10 000 km, permettant d'étudier en particulier la rentrée à très grande vitesse initiale.

La sixième phase enfin consistera dans le « dress rehearsal » ou répétition générale d'un vol vers la Lune, toutes les stations au sol intervenant, mais les véhicules demeurant sous l'influence de l'attraction terrestre. Si cette expérience est couronnée de succès, il n'y aura pas d'autre répétition.

Ainsi, dès la fin de 1968, les efforts inlassables de 20 000 entreprises américaines représentant 300 000 personnes pourraient trouver leur récompense dans l'arrivée du premier Américain sur la Lune. Mais ne risque-t-il pas d'y avoir été précédé par son collègue soviétique ?

Les recherches lunaires soviétiques

En 1959, après avoir lancé seulement trois satellites terrestres, les Soviétiques s'attaquèrent à la Lune.

Lunik I (appelé aussi « Mechta », qui signifie rêve) fut tiré le 2 janvier 1959 par un lanceur à trois étages. Le dernier étage, pesant 1 473 kg, transportait une charge instrumentale sphérique qui s'en sépara lorsque la vitesse de libération fut atteinte. Les deux parties de ce troisième étage restèrent proches l'une de l'autre, en suivant une trajec-

toire qui devait probablement les amener sur la Lune. Mais ils manquèrent leur objectif de près de 7 500 km et devinrent les premiers objets d'origine terrestre placés en orbite autour du Soleil.

Neuf mois plus tard, le 12 septembre, Lunik II fut lancé à son tour pour un vol comparable à celui de Lunik I. Le tir fut très tendu et la sonde ne mit que 33 heures et demie à atteindre la Lune. Cette fois, la charge s'écrasa à sa surface. Les mesures effectuées aux cours de la dernière phase du vol montrèrent l'absence de champ magnétique et de ceintures de radiations au voisinage de notre satellite.

Tiré le 4 octobre, Lunik III fut placé sur une orbite terrestre très excentrique, calculée pour que l'apogée de la première orbite se trouve derrière la Lune. Lorsque Lunik III passa ainsi derrière la Lune, il put photographier d'une distance de 50 000 à 60 000 km la face qui demeure toujours cachée aux observateurs terrestres. On ignore combien de clichés furent pris et les Soviétiques n'en révélèrent que neuf.

Lunik IV fut tiré le 2 avril 1963 ; pesant 1 442 kg, cette sonde, dont la durée de trajet fut anormalement longue et voisine de 90 heures, est passée à 8 500 km de la Lune ; elle a continué sa route sur une orbite instable très excentrique (apogée 800 000 km environ, périégée de l'ordre de 90 000 km) sur laquelle sa position est incertaine.

Plus de deux années s'écoulèrent avant que les Soviétiques ne s'attaquent de nouveau à la Lune, tentant cette fois de poser en douceur une charge à sa surface comme les Américains l'envisageaient dans le cadre du programme Surveyor.

Le premier tir de cette seconde série (9 mai 1965) fut un demi-échec puisque Luna V s'écrasa dans la région de la Mer des Nuées après 83 heures de vol, par suite d'un mauvais fonctionnement des rétrofusées.

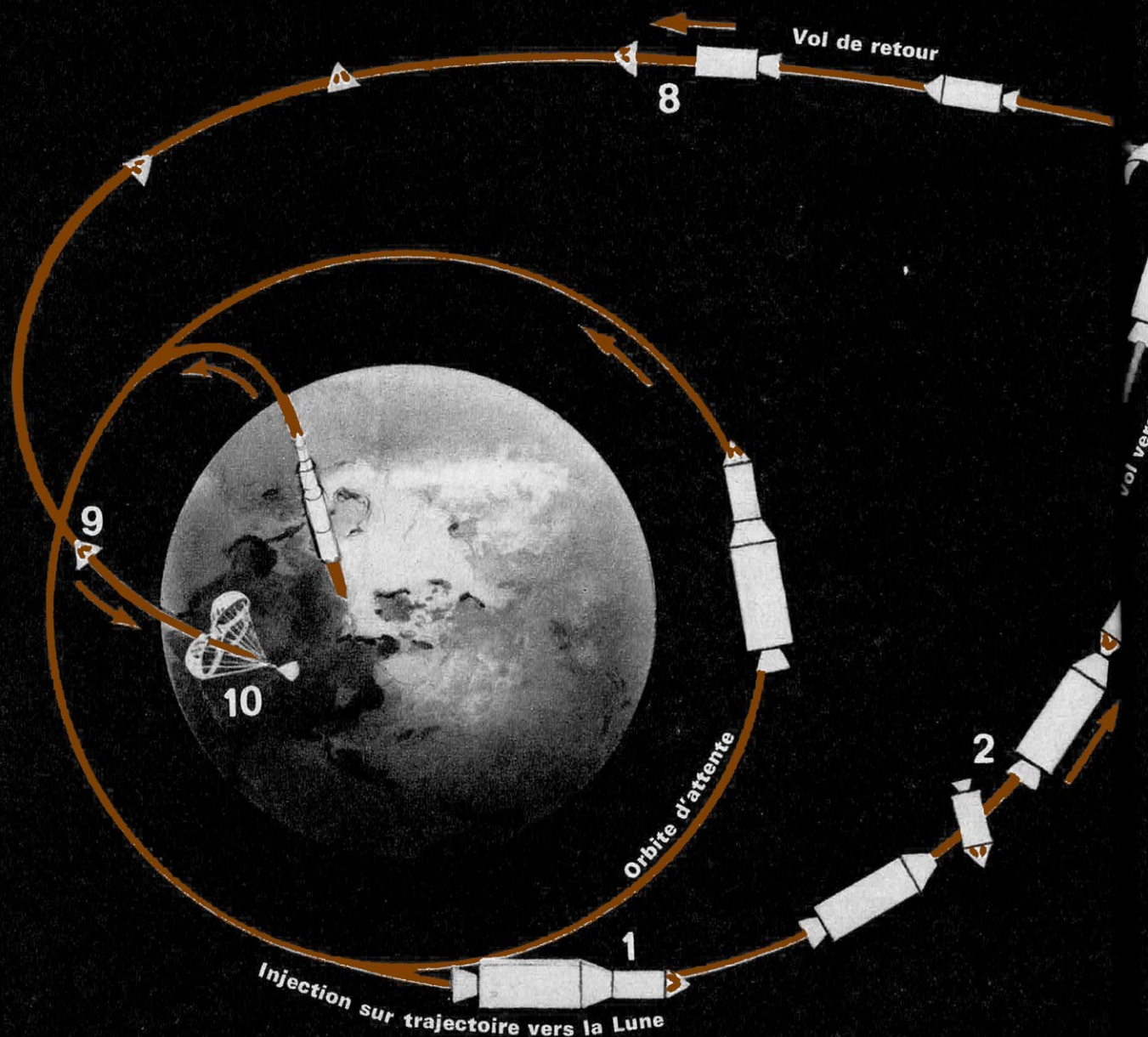
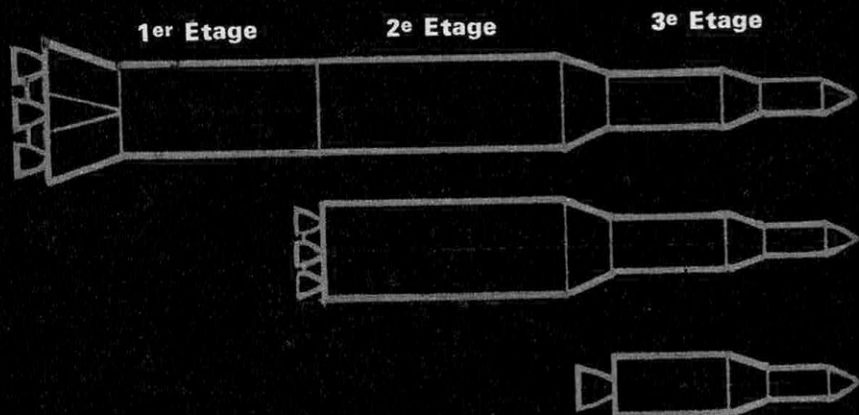
Nouvel essai un mois plus tard (8 juin 1965). Cette fois, le moteur de correction de trajectoire refusa de s'arrêter et Luna VI passa à 160 000 km de la Lune pour finalement se placer sur orbite solaire.

Bien que non destinée spécifiquement au programme d'exploration lunaire, la sonde spatiale Zond III, lancée le 18 juillet 1965, doit être ici mentionnée, car, au passage, elle a pris un certain nombre de clichés de la face cachée de la Lune, de qualité bien supérieure à celle des photographies enregistrées par Lunik III et dont l'intérêt est d'autant plus grand qu'ils ne couvrent pas la même portion de la surface lunaire.

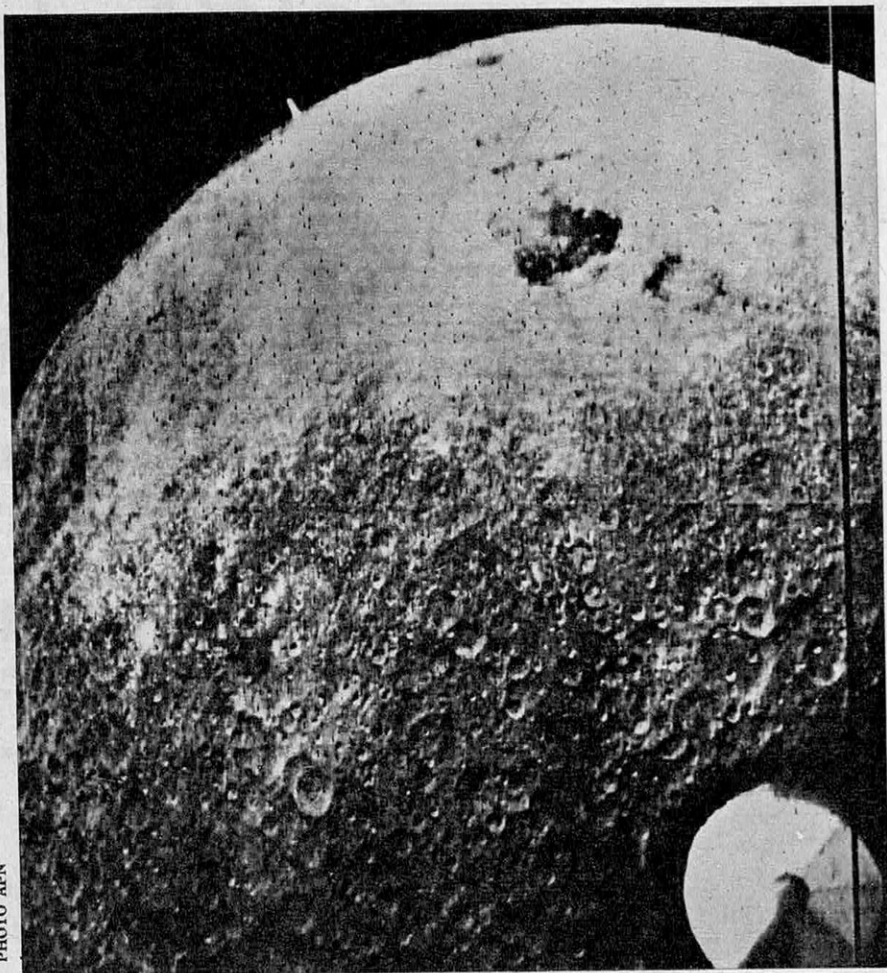
Luna VII ne devait pas avoir beaucoup plus de chance que son prédécesseur : pla-

LE VOL A LA LUNE

1 - Début du vol vers la Lune: 3^e étage S-IV B de Saturn V et véhicule Apollo.
 2 - Manœuvre de retournement: l'ensemble Command Module et Service Module se détache, tourne de 180° et revient accoster le LEM demeuré fixé au 3^e étage.
 3 - Le LEM a été détaché du 3^e étage, lequel a été abandonné dans l'espace.
 4 - Le LEM effectue sa descente freinée sur le sol lunaire. L'ensemble Command Module et Service Module demeure sur orbite lunaire.
 5 - Départ du sol lunaire. La partie inférieure du LEM sert de plateforme de lancement et est abandonnée.
 6 - Rendez-vous et accostage sur l'orbite lunaire avec l'ensemble Command Module et Service Module.
 7 - L'ensemble Command Module et Service Module s'injecte sur la trajectoire de retour, abandonnant sur orbite lunaire la partie supérieure du LEM.
 8 - Largage et abandon du Service Module avant la rentrée.
 9 - Rentrée du Command Module dans l'atmosphère terrestre.
 10 - Déploiement des parachutes et atterrissage.







◀ En juillet 1965, l'engin soviétique Zond 3 transmettait une série de clichés de la face cachée de la Lune couvrant une superficie de quelque cinq millions de km². De qualité très supérieure à ceux pris par Lunik III en 1959, ces clichés ont apporté des précisions sur la structure d'ensemble de la face cachée, où se trouveraient de nombreux gros cratères voisins.

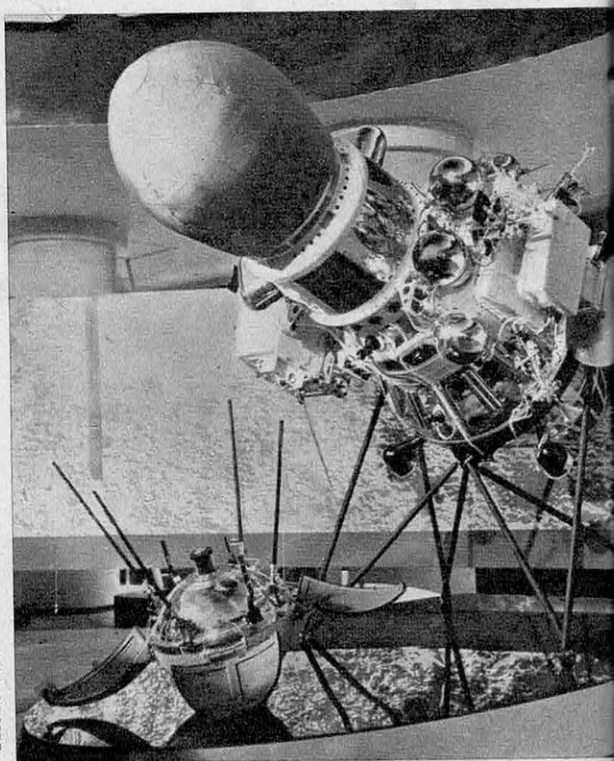
Des maquettes de la station automatique soviétique Luna IX et de son vaisseau porteur ont été exposées à Moscou en 1966. On remarque les pétales métalliques chargés d'amortir l'impact et de stabiliser la station après sa chute sur le sol de la Lune.

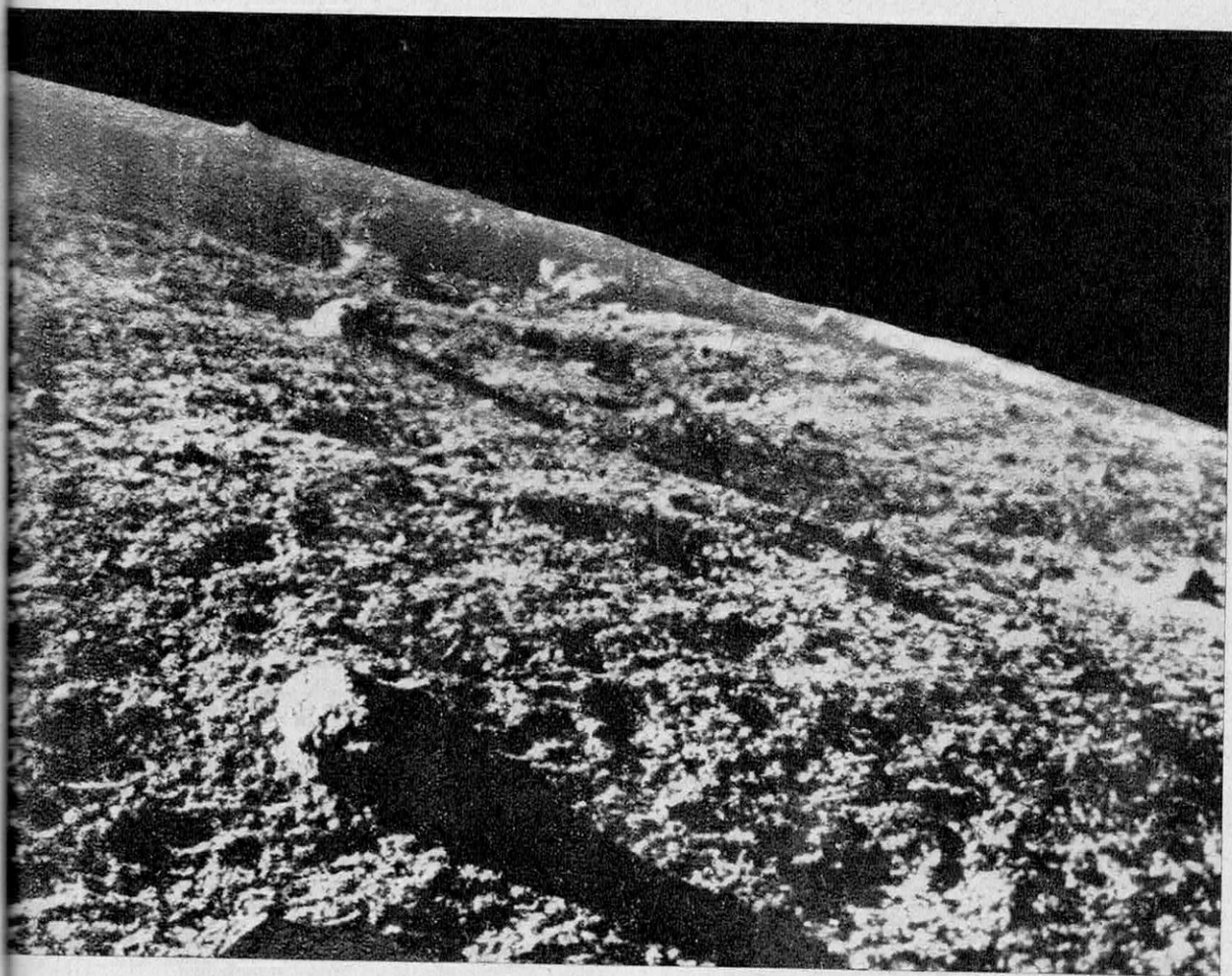
cé d'abord le 4 octobre 1965 sur orbite terrestre, puis tiré vers la Lune, il s'y écrasa à son tour, sans doute par suite d'un défaut dans la mise à feu de ses rétrofusées.

Le même sort, ou peu s'en faut, fut réservé à Lunik VIII (lancé le 3 décembre 1965) qui toucha effectivement la Lune exactement à l'instant prévu et réalisa peut-être l'atterrissage en douceur ; mais le fait est qu'il ne transmet aucune information. Selon l'agence Tass : « lorsque la station automatique s'est approchée de la Lune, le système d'atterrissage en douceur a fonctionné à tous les stades de l'opération sauf le dernier. » D'aucuns prétendirent à l'époque que le véhicule avait pu s'engloutir dans une épaisse couche de poussière, mais le succès de Luna IX, aussi bien que celui de Surveyor, sont venus infirmer cette thèse.

C'est en effet le 3 février 1966 que les efforts des Russes allaient enfin être couronnés de succès. Ce jour-là, Luna IX, lancé de la Terre le 31 janvier, se posait en douceur sur la Lune sans cesser d'émettre.

De conception relativement simple et pesant environ 1,5 tonne au départ de la Terre,





Placée à moins d'un mètre du sol, la caméra de télévision de Luna IX a pu « voir » la région avoisinante (une portion de la Mer

des Tempêtes) dans un rayon de 1,5 km. Une partie de l'engin lui-même est visible au bas de la photographie devant la roche.

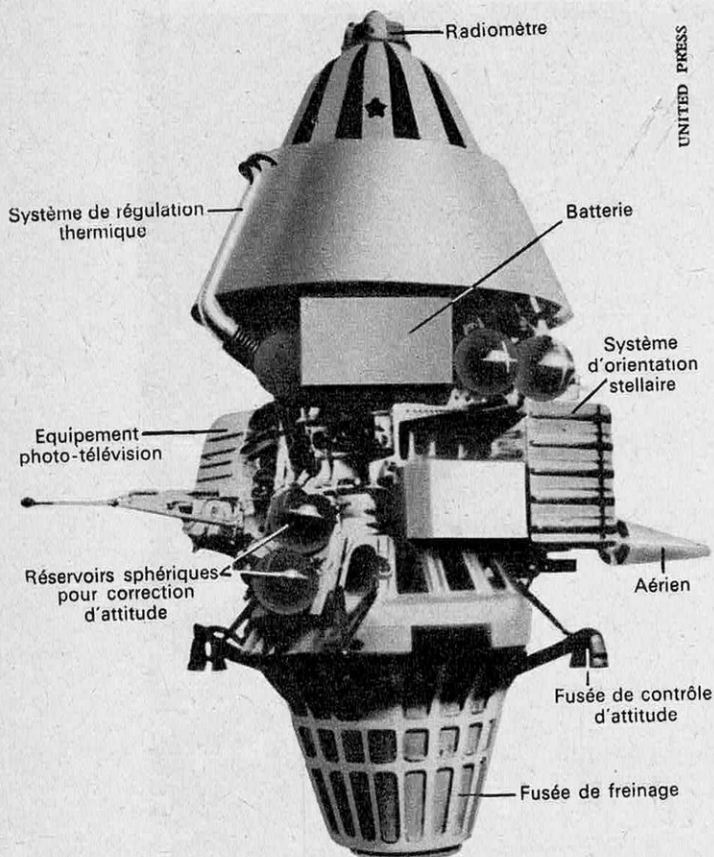
Luna IX n'emportait que quelques appareils de mesure qui ont notamment donné des indications sur la température du sol lunaire. Peu de temps avant l'atterrissage, l'enveloppe métallique protégeant la caméra s'est ouverte en quatre pétales qui ont assuré la stabilisation du véhicule avant d'amortir complètement le choc de l'impact.

Les photos transmises, d'excellente qualité, montrent que, dans la zone d'impact, la surface lunaire est recouverte d'un matériau consistant et rugueux et non pas de poussière. Au total, Luna IX a transmis des informations scientifiques et des images pendant 8 heures et 5 minutes, partagées entre sept émissions réparties sur trois jours, jusqu'à épuisement de ses batteries chimiques, car il n'était pas équipé de panneaux solaires.

Suivant apparemment le même cheminement que les Américains, mais les devançant, les Russes lancèrent ensuite (31 mars 1966) un nouveau type de capsule, Luna X, qui fut placé sur orbite circumlunaire entre 350 et 1 017 km d'altitude. Cette orbite elliptique a permis à Luna X de transmettre, au cours de 219 séquences réparties sur 57 jours et 460 orbites, de très nombreuses informations, confirmant notamment la très faible valeur du champ magnétique à la surface de la Lune. L'analyse des spectres du rayonnement gamma de la surface montre qu'ils sont comparables à ceux du basalte.

Les détecteurs ont confirmé l'augmentation de la densité des micrométéorites dans l'environnement lunaire. Le satellite n'emportait ni caméras ni cellules solaires et la liaison radio prit fin le 30 mai.

Luna XI, lancé le 24 août 1966, fut à son tour placé sur orbite circumlunaire et servit de banc d'essais à la caméra de télévision qui équipe Luna XII. Les Soviétiques ont été particulièrement discrets sur la mission de Luna XI dont on sait seulement qu'il



UNITED PRESS

Troisième satellite soviétique autour de la Lune, Luna XII, ci-contre, a été placé sur une orbite entre 100 km et 1 740 km envi-

ron. Il a pris des séries de photographies de la surface lunaire, transmises ensuite par télévision à 1 100 lignes de définition.

Spoutnik IV, lancé le 15 mai 1960, pesait plus de 4,5 tonnes et transportait un mannequin. C'était probablement un prototype du Vostok. Les études des conditions d'environnement se déroulèrent normalement, mais la tentative de récupération de la cabine au bout de quatre jours de vol fut un échec. Mal orienté, Spoutnik IV se brisa en huit morceaux et la cabine elle-même fut injectée sur une orbite plus haute d'où elle ne retomba qu'en octobre 1965 après 31 000 révolutions.

Spoutnik V, de même poids que le précédent, fut lancé le 19 août 1960 avec deux chiens à bord qui furent récupérés sains et saufs après 17 révolutions, ce qui ne fut pas le cas de Spoutnik VI, qui emportait aussi deux chiens et dont la récupération fut manquée. Les vols des deux derniers Spoutnik sans équipage, les IX et X, se déroulèrent dans d'excellentes conditions, le dernier le 25 mars 1961.

Dix-huit jours plus tard, le 12 avril 1961, les Soviétiques plaçaient le premier homme sur orbite, Youri Gagarine, à bord de la capsule Vostok I. La durée de l'expérience fut limitée à une seule révolution, mais les vivres étaient prévus à bord pour une douzaine de jours, afin que la rentrée puisse se faire naturellement au cas où le système de rétrofusée aurait été défaillant.

Nouvelle expérience, plus spectaculaire encore, le 6 août avec les 17 révolutions accomplies par Guerman Titov à bord de Vostok II. A partir de la cinquième révolution, Titov fut incommodé mais parvint à mener son expérience jusqu'à son terme.

Une année s'écoula avant que les Vostok III et IV soient mis sur orbite, réalisant le premier rendez-vous approximatif dans l'espace. Vostok III, avec Andrian Nikolayev à bord, fut lancé le 11 août 1962 et Vostok IV, piloté par Pavel Popovich, fut mis sur orbite le jour suivant. Les deux véhicules s'approchèrent à moins de cinq kilomètres l'un de l'autre, mais se séparèrent par la suite de plus de 2 800 km, ce qui tendrait à démontrer qu'aucun équipement leur permettant de manœuvrer dans l'espace n'avait été prévu en vue d'un rapprochement. Le contact radio fut cependant maintenu entre les deux cosmonautes pendant la durée de l'expérience. Les deux véhicules se posèrent à quelque 200 km l'un de l'autre à six minutes

tourne entre 160 et 1 200 km d'altitude. Il a émis jusqu'au 1^{er} octobre.

Tiré le 22 octobre, Luna XII assura ses premières retransmissions le 29, avec de très bons résultats. La mission photographique se termina au début de novembre, mais Luna XII continue de fournir des données scientifiques. Le 21 décembre dernier, Luna XIII était à son tour lancé en direction de la Lune après passage classique sur une orbite d'attente. Le but fut atteint le 25 décembre après 80 heures de vol.

Cet intérêt renouvelé pour la Lune indique qu'en dépit de certaines déclarations prudentes situant l'arrivée d'un homme sur notre satellite entre 1970 et 1975, les Soviétiques n'ont pas perdu l'espoir de battre les Américains sur le poteau d'arrivée. Ils ont de plus acquis une expérience non négligeable dans le domaine du vol spatial humain.

Les vols humains soviétiques

Dès leurs premières expériences spatiales, en effet, les Soviétiques ont axé une partie de leurs travaux sur les vols humains, préparés par les Spoutnik II, IV, V et VI en 1960, IX et X en 1961.

LES VOLS HUMAINS SOVIÉTIQUES

Mission	Astronautes	Date de lancement	Nombre de révolutions	Durée de vol	Durée des sorties dans l'espace
Vostok I	Youri Gagarine	12 avril 1961	1	1 h 48 mn	
Vostok II	Guerman Titov	6 août 1961	17	25 h 18 mn	
Vostok III	Andrian Nikolayev	11 août 1962	64	94 h 25 mn	
Vostok IV	Pavel Popovich	12 août 1962	48	70 h 59 mn	
Vostok V	Valeri Bykovski	14 juin 1963	81	119 h 6 mn	
Vostok VI	Valentina Tereshkova	16 juin 1963	49	70 h 50 mn	
Voskhod I	Vladimir Komarov Konstantin Feoktistov Boris Egorov	12 octobre 1964	16	24 h 17 mn 3 s	
Voskhod II	Pavel Beliaiev Alexis Leonov	18 mars 1965	17	26 h 2 mn 17 s	23 mn 41 s

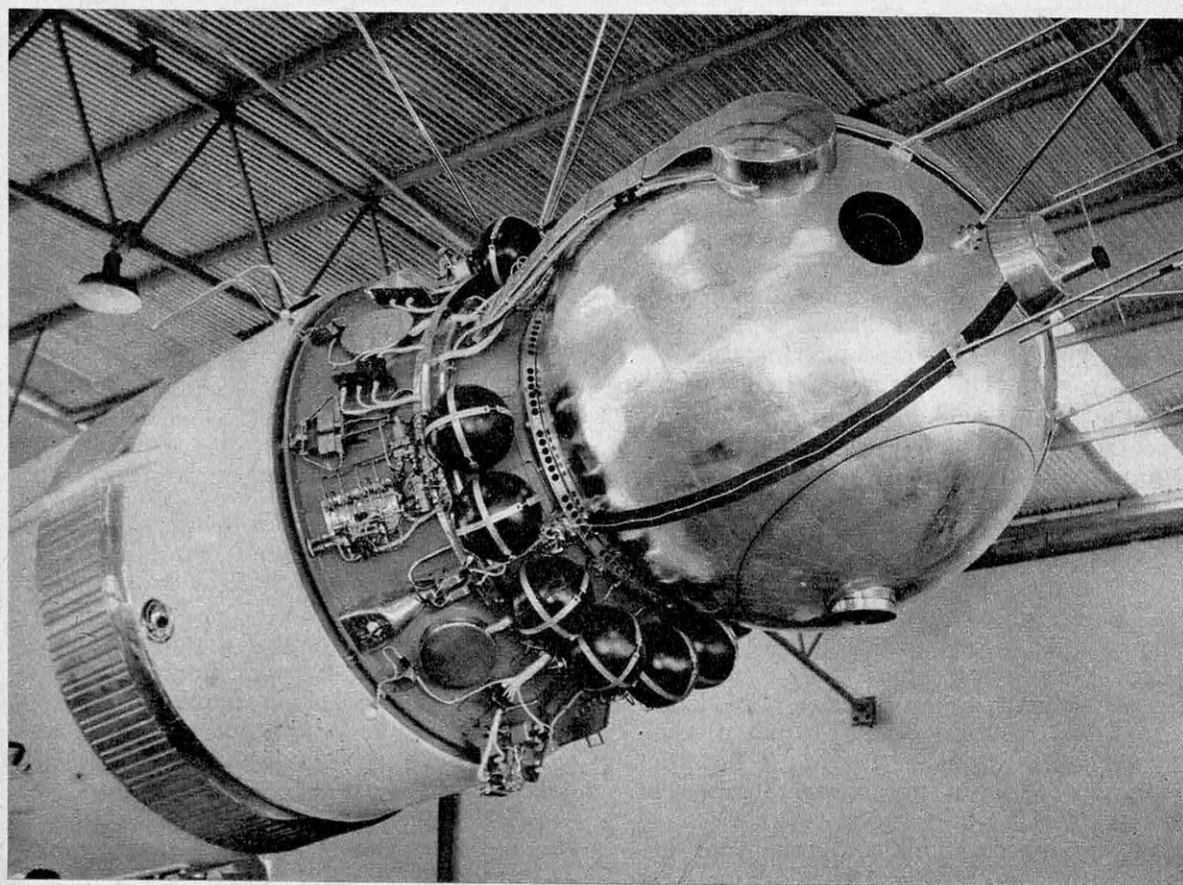


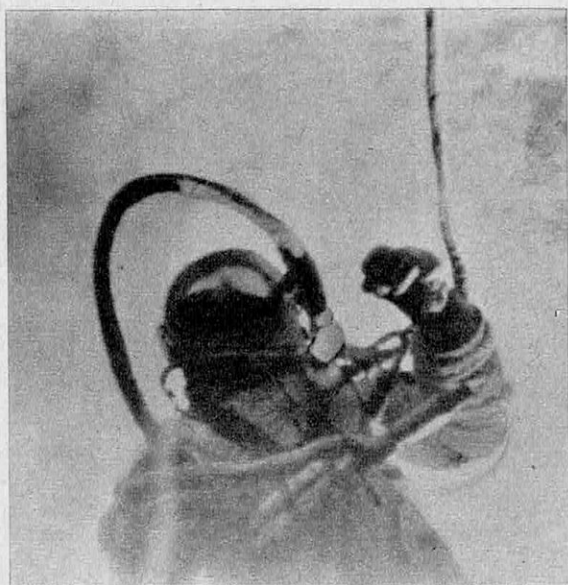
PHOTO APN

Le vaisseau spatial Vostok ne fut montré au public qu'en 1965, quatre ans après le

vol de Gagarine. Il comporte à l'avant une capsule sphérique pour l'équipage, au

milieu le compartiment des équipements, ceinturé de réservoirs sphériques d'azote sous

pression. La rétrofusée de rentrée est cachée à l'arrière sous la jupe périphérique.



Depuis le vol de Voskhod II en mars 1965, marqué par la première sortie d'un homme dans l'espace, le com-

mandant Alexis Leonov (ci-dessus), aucun vaisseau spatial habité n'a été lancé par les Soviétiques.

d'intervalle, le premier après 64 révolutions, le second après 48 seulement.

Les deux derniers Vostok furent tirés les 14 et 16 juin 1963. Valeri Bykowski fut lancé à bord de Vostok V et la première femme cosmonaute, Valentina Tereshkova à bord de Vostok VI. Le vol de groupe de leurs prédécesseurs ne put être renouvelé, mais de nombreuses expériences biomédicales furent menées à bien, tandis que la qualité des images transmises par télévision se révélait très améliorée. Vostok VI fut ramené au sol au bout de 49 révolutions, tandis que Bykowski demeurait sur orbite plus de 119 heures en tout, effectuant 81 révolutions.

La phase suivante des expériences soviétiques amena la mise sur orbite, le 12 octobre 1964, du premier satellite triplace, Voskhod I, ayant à bord Vladimir Komarov, pilote, Konstantin Feoktistov, ingénieur spatial, et Boris Egorov, physiologue.

Les objectifs principaux fixés à cette expérience étaient, selon l'agence Tass, outre l'essai d'un nouveau vaisseau spatial, l'observation scientifique et technique des conditions du vol dans l'espace par l'homme et non plus par des instruments, l'étude biomédicale des répercussions sur l'organisme humain, enfin l'étude psychosociologique d'un groupe humain placé dans les conditions très particulières d'un vol spatial prolongé.

L'atmosphère artificielle créée à l'intérieur de la capsule permit aux trois cosmonautes

de se passer des combinaisons spatiales utilisées jusque-là tant du côté russe que du côté américain.

Voskhod I était vraisemblablement doué de certaines possibilités de manœuvre, ou au moins d'orientation dans l'espace, mais, sur ce point, on est très mal renseigné.

Après sa seizième révolution, soit plus de 24 heures de vol, Voskhod I fut ramené au sol avec son équipage par le jeu combiné de fusées de freinage et de parachutes. Ce fut d'ailleurs la première fois que des cosmonautes soviétiques revenaient au sol à l'intérieur de leur capsule. Jusque-là, ils s'étaient tous éjectés en parachute à une certaine distance du sol.

Le dernier vol humain soviétique, celui de Voskhod II, remonte au 18 mars 1965. Il vit Alexis Leonov, copilote de Pavel Beliaiev, devenir le premier « piéton » de l'espace, sortant de sa capsule durant une vingtaine de minutes ; le retour de Voskhod II donna lieu à quelques difficultés par suite de la défection d'une rétrofusée et il se fit par pilotage manuel.

Depuis près de deux ans maintenant, les Russes n'ont donc envoyé aucun homme dans l'espace, ayant accumulé par contre une somme considérable de renseignements sur l'espace et sur la Lune grâce aux tirs de multiples engins de la série des Cosmos et aux différents Lunik.

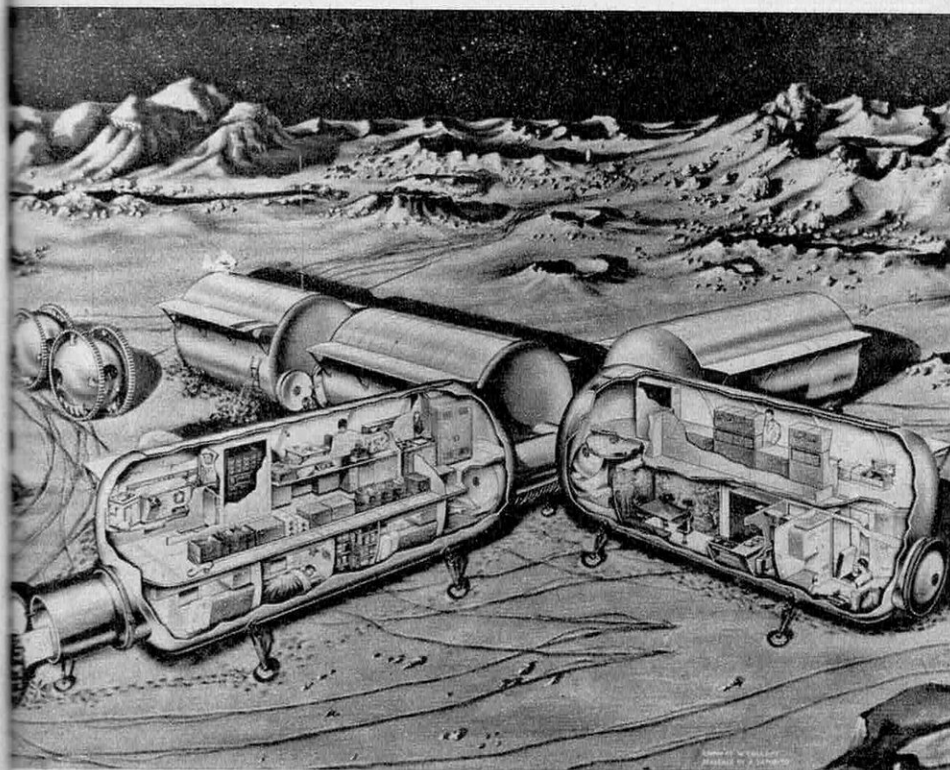
Il serait étonnant que le défi lunaire américain ne soit pas relevé, peut-être pour le cinquantième anniversaire de la Révolution d'Octobre, en 1967. Mais les Soviétiques se gardent bien de révéler quoi que ce soit de leurs intentions.

L'exploration lunaire à long terme

L'envoi pour quelques heures, ou quelques jours, de cosmonautes sur la Lune ne pourra être qu'un début. Quelles seront les étapes suivantes ?

Les Américains songent depuis longtemps à ce que pourrait être un programme d'exploration lunaire à long terme, en partant du principe que le programme Apollo leur aura donné tous les moyens techniques nécessaires.

Il est envisagé, par exemple, d'envoyer chaque année pendant au moins dix ans, une et peut-être deux cabines spatiales avec équipage. Chaque équipe d'explorateurs déposerait une charge d'instruments automatiques qui prolongerait leurs observations dans le temps.



Au delà du projet Apollo, les ingénieurs songent à l'installation de bases lunaires permanentes. La firme Lockheed a proposé un projet de base « modulaire » construite par assemblage de vastes cylindres débarqués un à un sur le sol de la Lune. Chacun des cylindres est doté d'un équipement de survie autonome mais l'énergie est fournie à leur ensemble par une centrale nucléaire.

Les missions essentielles ont été ainsi définies :

- récolter le plus grand nombre possible d'échantillons du sol lunaire ; les explorateurs devront être très avertis en matière de géologie et capables de choisir les échantillons les plus intéressants et de les ramener stériles sur la Terre ;

- au fur et à mesure que leur autonomie augmentera, les explorateurs étendront le champ de leurs recherches ; ils pourront décrire les caractéristiques topographiques de la région où ils auront été déposés et en rapporter des photographies stéréoscopiques ;

- implanter éventuellement une base fixe permettant un séjour de deux mois à un an. On prévoit de donner aux explorateurs des véhicules leur permettant de se déplacer, au sol d'abord, puis à basse altitude. Dans le premier cas, le véhicule transporterait un ou deux hommes et 250 kg d'instruments scientifiques, un peu moins dans le second cas, mais avec cet avantage de pouvoir atteindre certains points inaccessibles en roulant. On pense qu'en 1975, le rayon d'action des explorateurs pourra être de 800 km.

Cette exploration humaine représentera environ 1 % de la surface lunaire dans le premier stade. C'est pourquoi les sondes orbitales garderont leur intérêt, ne serait-ce que pour déterminer les zones justifiant une exploration directe.

Les techniciens américains ont déjà eu l'occasion de travailler, sous contrat de la NASA, tous les aspects de ce programme à long terme : abri pour le personnel, système de maintien de la vie, production d'énergie, télécommunications, véhicules d'exploration lunaire, moyens de transport Terre-Lune et retour du personnel et du matériel.

Cette colonisation de la Lune ne sera sans doute pas uniquement scientifique. Il n'est pas douteux, en effet, que la Lune pourrait servir avantageusement de base de départ pour des vols vers d'autres planètes. Il n'est pas impossible non plus que l'on trouve dans les profondeurs de son sol des richesses minérales méritant d'être exploitées. On peut donc estimer que l'homme ne fera pas que « passer » sur la Lune, mais sera amené, pour l'une ou l'autre raison, à y établir des bases permanentes.

Problème techniquement et financièrement colossal, l'exploration lunaire sera peut-être à la base d'un rapprochement des deux Grands de l'espace, qui pourraient s'associer dans un tel projet comme ils coopèrent pour l'exploration des régions polaires. La mise en commun des hommes et des moyens préviendrait certainement bien des duplications d'efforts et des dépenses inutiles, ouvrant la voie à une exploration internationale des espaces lointains.

R. de NARBONNE

TÉLÉCOMMUNICATIONS MÉTÉOROLOGIE NAVIGATION

Certaines recherches scientifiques ou technologiques ont mis parfois plusieurs dizaines d'années à se « justifier » dans le domaine des applications pratiques. Il n'en aura pas été de même pour la conquête de l'Espace qui, dès ses premières années, a commencé de porter ses fruits. Au delà de la découverte scientifique pure, en effet, la recherche spatiale trouve déjà des applications dans la vie courante et c'est d'elles — ou du moins des plus spectaculaires d'entre elles — qu'il sera ici question.

Nous ne parlerons pas de toutes les « retombées » indirectes dont bénéficient de multiples techniques industrielles. Les exigences de la recherche spatiale furent telles, en effet, que des procédés de fabrication révolutionnaires, des matériaux inédits, ont été mis au point dont n'ont pas seulement profité certaines réalisations de « pointe ». Nombreux sont les cas où elle a suscité en moins de cinq années des progrès qui, sans ce stimulant, se seraient fait attendre vingt ans et plus.

Nous nous limiterons à trois domaines où les satellites « utilitaires » — ou satellites d'application — ont apporté directement une contribution fondamentale : télécommunications, météorologie, radionavigation.

POURQUOI DES SATELLITES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS ?

Les conditions de la vie moderne augmentent considérablement les besoins de communications, notamment sur longues distances, d'un continent à l'autre. Deux moyens étaient jusqu'ici disponibles pour ces transmissions : le câble et la radio.

Les câbles sous-marins, d'une pose difficile, sont d'un entretien délicat et représentent des investissements considérables pour une capacité assez réduite. Pour la demi-douzaine de câbles qui relient l'Amérique du Nord à l'Europe, le stade de la saturation est

d'ores et déjà atteint. La largeur de bande qu'ils offrent ne permet d'ailleurs pas la transmission de la télévision.

Pour les liaisons à grande distance, on utilise des ondes courtes (10 à 100 m de longueur d'onde) capables de parcourir plusieurs milliers de kilomètres en se réfléchissant alternativement sur la couche supérieure ionisée de l'atmosphère et sur le sol. Le principal inconvénient réside dans les variations que manifeste l'ionosphère non seulement entre le jour et la nuit, mais d'un moment à l'autre et surtout lors des orages magnétiques, provoquant des « black-out » dans la transmission. De plus, la largeur de bande, dont dépend la quantité d'information susceptible d'être transmise est limitée pour ces fréquences qui ne peuvent en particulier convenir pour la télévision. Pour les communications à l'échelle régionale ou, à la rigueur, continentale, l'emploi d'ondes très courtes ou ultracourtes, avec des longueurs d'onde de l'ordre du mètre, du décimètre, voire du centimètre, est devenu de pratique courante pour la radiotéléphonie, la modulation de fréquence et la télévision ; en général de telles ondes ont seulement une portée optique, c'est-à-dire limitée à l'horizon de l'émetteur ; on a été ainsi conduit à installer sur des tours, tous les 40 ou 50 km, des stations-relais, dont l'implantation au milieu des océans est quasi impossible.

L'intérêt que présentaient pour ces raisons les satellites-relais de télécommunications, qui pouvaient, pour les fréquences très élevées, jouer le rôle de tours hautes de centaines ou de milliers de kilomètres, et donc d'un horizon très large, n'avait pas échappé aux pionniers de l'astronautique, bien avant les premiers lancements. En fait, ce fut dès décembre 1958, quatorze mois seulement après le premier Spoutnik, que fut satellisé le premier satellite de télécommunications, dans le cadre du projet Score (*Signal Communication by Orbiting Relay Equipment*).

Emportant plusieurs messages enregistrés sur bandes magnétiques — dont un message de fin d'année du Président Eisenhower —, Score les retransmet sur demande pendant 13 jours. Il est évident que ce processus, qui fut spectaculaire en son temps, est trop limité et trop onéreux pour connaître des applications vraiment pratiques.

Les satellites de télécommunications se répartissent en deux grandes familles :

- les *satellites passifs* qui se contentent de réfléchir les ondes radioélectriques ;

- les *satellites actifs* qui, d'une manière ou d'une autre, traitent le faisceau d'ondes reçu avant de l'émettre à nouveau.

LES SATELLITES PASSIFS

C'est le 12 août 1960 qu'une fusée Thor-Delta mise à feu à Cap Canaveral plaçait sur orbite une ogive de 62 kg contenant un ballon en plastique Mylar aluminisé de 0,13 mm d'épaisseur qu'une vaporisation d'acide benzoïque transformait en une

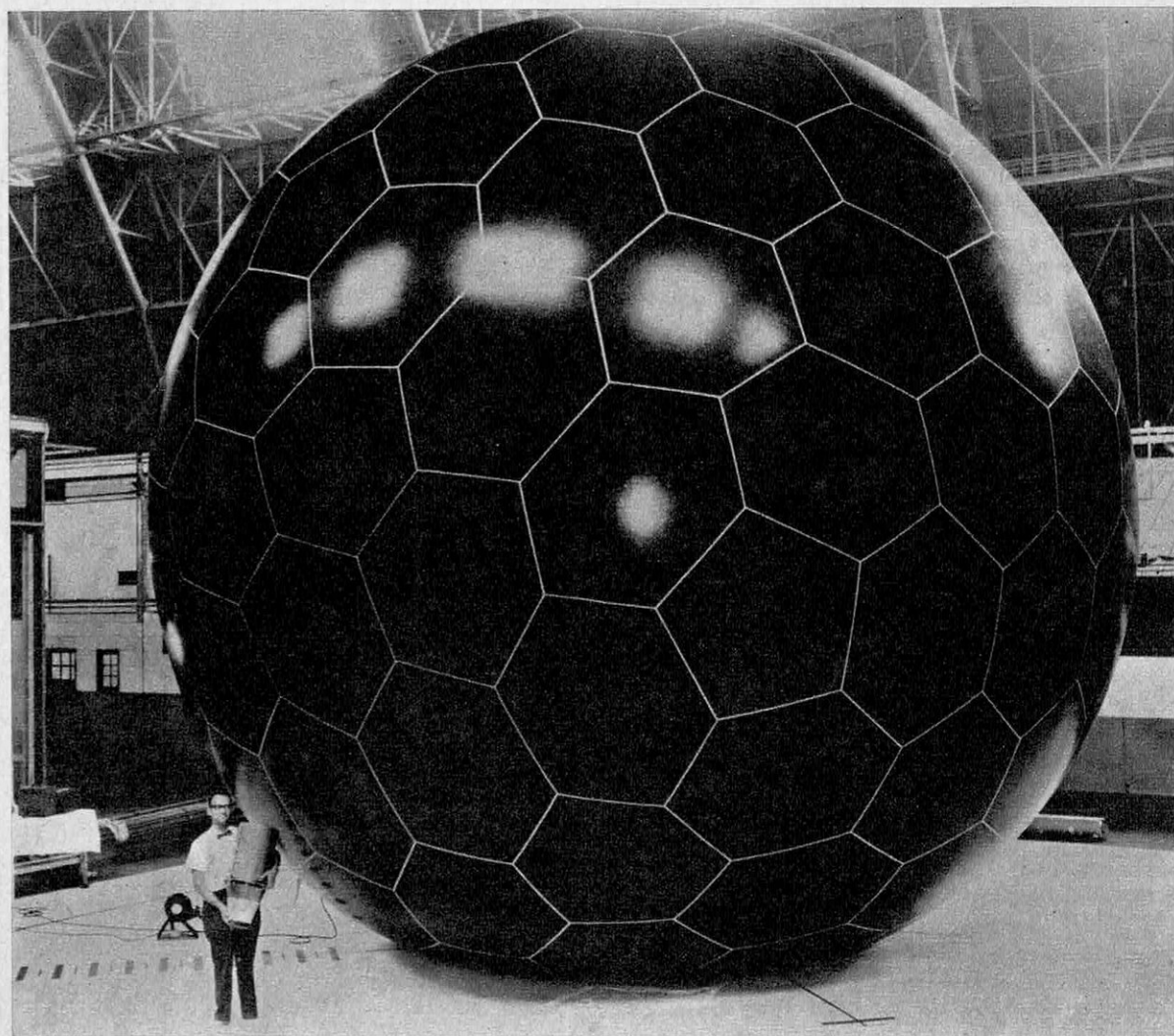
sphère de 30 m de diamètre. Echo I était né. Il permit les premières expériences de transmission de voix, de musique et de messages téléphoniques par-dessus l'Atlantique, entre les stations de Holmdel (New Jersey), Goldstone (Californie) et Stump Neck aux USA, Jodrell Bank en Grande-Bretagne, Nançay en France.

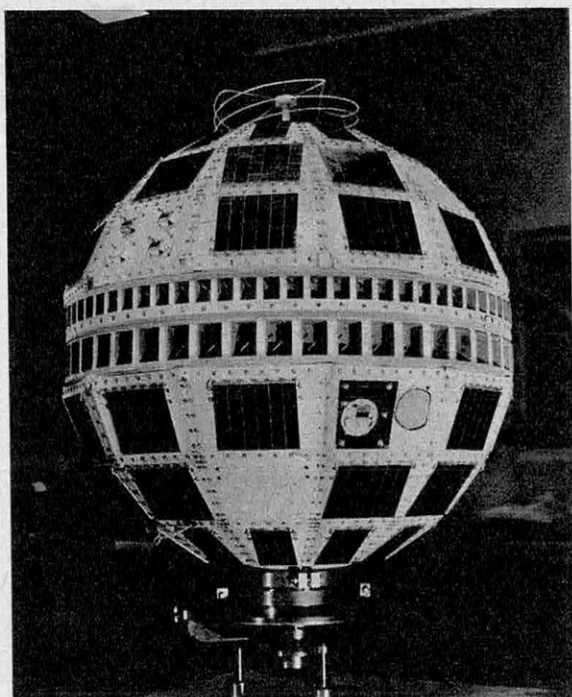
Au cours des années, Echo I a vu ses caractéristiques physiques se détériorer. Il s'est notamment dégonflé et par conséquent déformé, perdant ainsi de son pouvoir réfléchissant. Il a néanmoins permis en 1962 des essais concluants de retransmissions de télévision.

Echo I, qui est toujours sur orbite, a été suivi en janvier 1964 d'Echo II, caractérisé

Constitué d'une enveloppe de plastique doublée d'une armature métallique, ce ballon se déploie sur orbite par insufflation d'hé-

lium. Après photolyse de l'enveloppe par les ultraviolets solaires, l'armature demeure et réfléchit les ondes dirigées sur le satellite.





Telstar, dont deux exemplaires ont été placés sur orbite en 1962 et 1963, présentait la forme d'une sphère de 85 cm avec antennes d'émission et

de réception dans la région équatoriale. La sphère est surmontée d'une petite antenne hélicoïdale pour réception de télécommande et pour télémessures.

par une meilleure rigidité de son enveloppe. Il est à la base d'une coopération américano-soviétique, l'observatoire de Zimenki (université de Gorki) effectuant ses transmissions par l'intermédiaire de Jodrell Bank, la portée de réflexion étant insuffisante.

Mentionnons enfin que des études ont été faites en vue d'utiliser la Lune comme réflecteur. Les résultats sont suffisamment encourageants pour que l'on puisse envisager la création de « miroirs lunaires », mais leur utilisation en un point donné de notre globe ne pourrait être que périodique.

Idéalement simple, la réflexion passive offre le très grand inconvénient d'entraîner des pertes de puissance qui s'accumulent au cours des différentes phases : traversée de l'atmosphère à l'aller, réflexion, nouvelle traversée de l'atmosphère. Tant et si bien que l'on ne recueille plus qu'un milliardième de watt d'un faisceau initial de 10 kW, ce qui conduit à l'utilisation d'antennes de très grandes dimensions.

L'idéal serait de disposer de satellites synchrones, c'est-à-dire placés sur une orbite telle qu'ils tournent à la même vitesse que la Terre. Le réflecteur serait ainsi d'utilisation permanente mais l'altitude serait trop

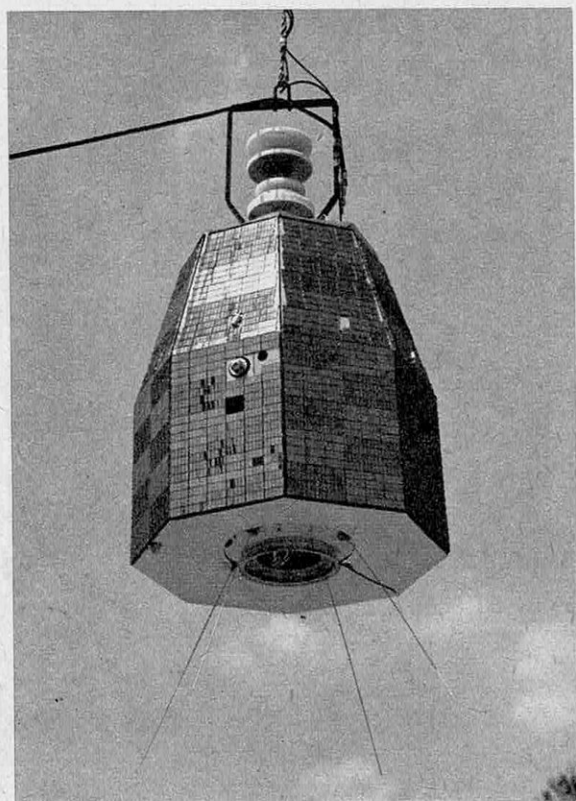
grande pour que les résultats soient exploitables dans l'état actuel des techniques d'émission.

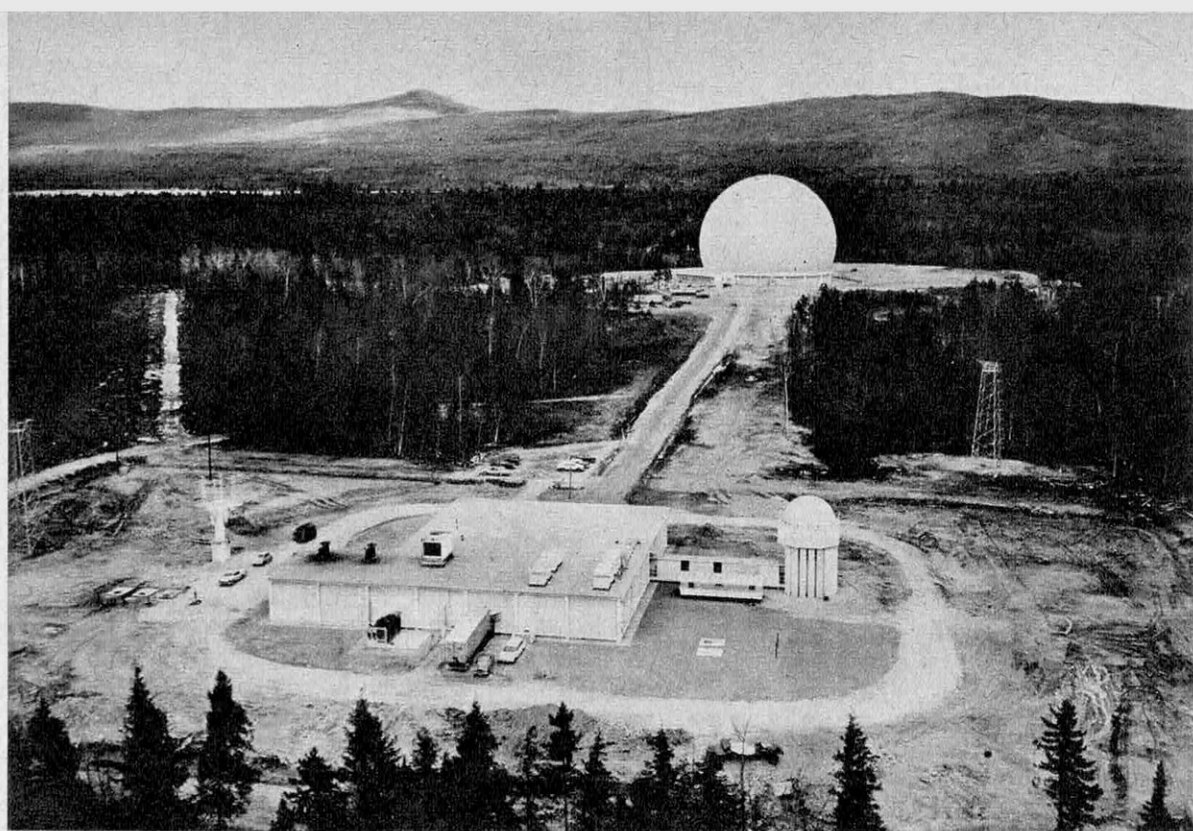
Compte tenu de tous les inconvénients : grande perte de puissance, nécessité de grandes antennes directives et sélectives, encombrement et vulnérabilité aux météorites, possibilité d'être utilisés par tout le monde, et malgré l'atout majeur de leur extrême simplicité, les satellites passifs ne paraissent pas promis à un très grand avenir à moins qu'ils ne soient associés à de nouveaux procédés d'émission comme les *Masers*.

Notons cependant que le 14 juillet 1966, l'Armée de l'Air américaine a lancé un nouveau satellite passif faisant appel à des principes originaux. Il s'agit en effet d'un ballon de matière plastique doublé d'une armature métallique très légère. L'ensemble se gonfle sous la forme d'une sphère de 9 mètres de diamètre, puis le plastique se décompose sous l'action des ultraviolets. La sphère de métal, peu sensible aux chocs des

Dotés d'émetteurs beaucoup plus puissants que ceux des Telstar, les satellites actifs Relay ont été expérimentés avec succès en 1962 et 1964.

Leurs 6 000 cellules photovoltaïques étaient protégées de l'effet nocif des ceintures de radiations par des panneaux de quartz de 1,5 mm.





Les satellites à défilement, type Relay ou Telstar, nécessitent de complexes installations au sol, telles celles d'Andover aux USA (ci-dessus) : à

l'arrière-plan un vaste dôme abrite l'antenne-cornet pour émission et réception ; à gauche du bâtiment central se dresse une antenne de poursuite.

météorites et aux radiations solaires, se comporte comme un réflecteur passif d'un rendement cinq fois supérieur à celui des ballons en Mylar.

LES SATELLITES ACTIFS

Les défauts des satellites passifs conduisent à l'adoption de capsules satellisées porteuses des systèmes électroniques correspondant aux fonctions de réception des émissions terrestres, amplification du signal, émission plus ou moins directionnelle vers la Terre. Ce sont des satellites actifs qui sont soit des *satellites de répétition*, soit des *satellites-relais*, ces derniers pouvant être à *défilement* ou *stationnaires* selon les caractéristiques de leur orbite.

Les satellites de répétition sont loin d'être sans intérêt, surtout dans le domaine militaire. Ils offrent en effet une large possibilité de secret, les informations étant enregistrées sur bande magnétique pendant une partie de l'orbite et retransmises sur demande au moment du passage dans le champ des stations terrestres auxquelles elles sont destinées. Ces satellites sont souvent placés sur des orbites assez basses, ce qui limite leur

« visibilité », mais accroît la sécurité de la transmission.

Le premier satellite spécialement conçu pour transmettre « en différé » a été Courier I-B, sphère de 1,30 m de diamètre, couverte de 20 000 cellules photovoltaïques et qui fut lancée aux U.S.A. le 4 octobre 1960. La capacité de ses mémoires était de 280 000 mots approximativement, la cadence de débit étant de 68 000 mots/minute. Le fonctionnement de Courier fut volontairement interrompu au bout de 17 jours afin d'éviter l'encombrement des fréquences.

Ce type de satellites ne permet pas la retransmission instantanée mais peut transporter rapidement une grande masse d'information d'un point à un autre, même très éloigné. Lorsqu'une transmission instantanée est imposée, force alors est d'avoir recours à un satellite-relais.

Extrapolation des stations-relais des faisceaux hertziens et de télévision, les satellites-relais, véritables petites usines électroniques, supposent d'importantes stations au sol pour l'émission et la réception et de plus une excellente précision dans la connaissance de la trajectoire puisque les deux antennes doivent être axées simultanément.

Selon le choix de l'orbite, deux possibilités de trajectoire s'offrent :

- une orbite elliptique, d'apogée relativement élevé, afin d'augmenter le temps durant lequel le satellite est en vue des stations émettrices et réceptrices ;

- une orbite circulaire à 36 000 kilomè-

tres qui correspond pour le satellite à une vitesse équivalente à la vitesse de rotation de la Terre, le satellite paraissant ainsi fixe par rapport à tout point du globe.

Les satellites du premier type, dits à *défilement*, furent, chronologiquement, les premiers placés sur orbite, à une époque où les fusées porteuses n'étaient pas assez évoluées en puissance et précision de trajectoire pour que des orbites géostationnaires soient possibles.

Mis sur orbite le 10 juillet 1962 par une fusée Thor-Delta, Telstar I a ouvert un nouveau chapitre dans l'histoire des relations humaines en faisant de la mondovision une réalité quasi quotidienne.

Conçu par l'American Telephone and Telegraph (ATT), il fut placé sur une orbite inclinée à 44° sur l'équateur, avec un apogée de 5 600 km et un périégée de 955 km. La période d'utilisation optimale d'un tel satellite se situe à l'apogée de la trajectoire, moment où la vitesse de défilement est la plus réduite. Cependant, cette orbite n'est pas fixe dans l'espace et la durée d'utilisation tombe à une valeur très faible lorsque c'est le périégée qui est au-dessus de l'Atlantique.

Les trois stations employées à l'origine en association avec Telstar furent celles de Andover (USA), Pleumeur-Bodou (France) et Goonhilly (G.-B.). Les deux premières, particulièrement précises, se braquent en moyenne à 0,003 degré du centre du signal. Il s'agit pourtant d'un immense cornet de 167 tonnes, de très grande précision mécanique, protégé du vent et des variations de températures par un radome en caoutchouc et Dacron, renfermant un volume climatisé et sous pression.

L'orbite choisie permettait d'assurer en moyenne chaque jour trois ou quatre émissions de 15 à 25 minutes, avec un sens unique (une image de télévision au standard américain ou 600 voies téléphoniques) ou dans les deux sens (12 à 60 voies téléphoniques).

Le fonctionnement de Telstar I fut satisfaisant jusqu'au 24 novembre 1962. Une avarie se manifesta alors, que l'on a attribuée à l'action de particules ionisantes sur la surface des transistors au silicium. Ces particules résultaient de la présence d'une quantité anormale d'électrons entre 1 500 et 3 000 km d'altitude, au niveau de la ceinture de Van Allen, créés probablement par l'explosion nucléaire à haute altitude de juillet 1962. Cette avarie fut, chose presque incroyable, réparée par l'envoi de signaux ingénieusement modifiés, et Telstar I reprit son fonctionnement régulier le 3 janvier suivant. Telstar I est toujours sur orbite,

mais il est muet depuis le 21 février 1963.

Un autre Telstar fut lancé en mai 1963 et placé sur une orbite un peu plus excentrique. Il permettait des liaisons continues de près d'une heure et le réseau fut agrandi au Brésil, à l'Allemagne et à l'Italie. Telstar II est à son tour tombé en panne en mai 1965.

Les deux Telstar furent essentiellement des réalisations privées, dues à l'ATT qui construisit les satellites à ses frais et remboursa les tirs à la NASA. Un effort officiel était cependant entrepris dans le même domaine, la Radio Corporation of America étant chargée par la NASA de mettre au point un satellite à défilement baptisé Relay. Plus puissant à l'émission (10 W au lieu de 2,25 W) que Telstar, son équipement permettrait une émission de télévision et 12 liaisons téléphoniques dans les deux sens, ou 144 liaisons par téléscripteurs.

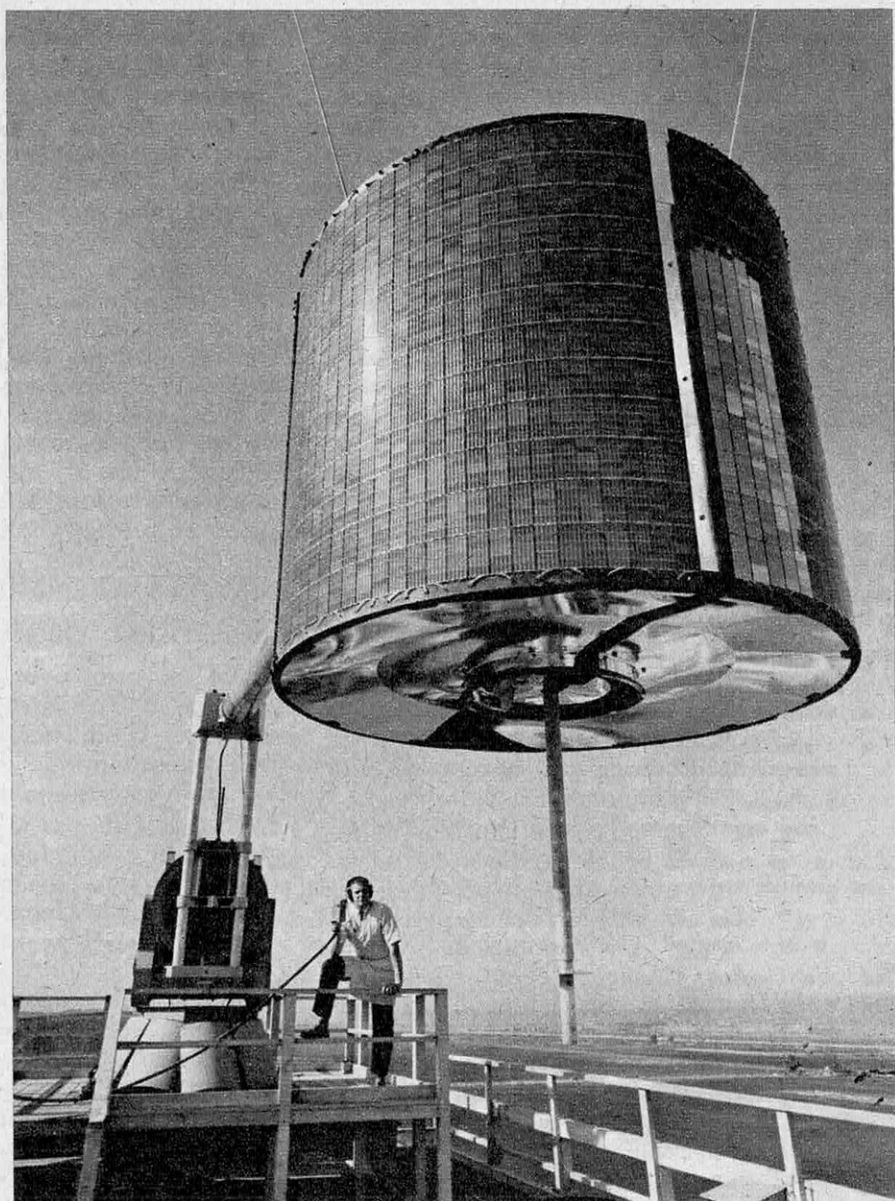
Placé sur orbite le 13 décembre 1962, Relay I devait se détruire automatiquement au bout d'un an, mais le système automatique fut défaillant et il n'expira d'épuisement que vers la fin de février 1965. Entre-temps, le 21 janvier 1964, Relay II avait été placé sur orbite de périégée plus élevé. Toujours sur orbite, il a cessé de transmettre en septembre 1965. Il a permis les premières transmissions de télévision en couleurs.

Les premières initiatives soviétiques en matière de satellites de télécommunications ont aussi porté sur des satellites à défilement, les Molnyia, caractérisés par leur orbite très fortement elliptique (apogée 39 500 km, périégée 499 km pour Molnyia III). Ces satellites se comportent pratiquement comme des satellites stationnaires lors de leurs passages au-dessus de l'Union Soviétique. Molnyia III est ainsi utilisable pendant huit heures consécutives et sa période de 12 heures lui permet de repasser chaque jour à la même heure au-dessus des mêmes points. On sait que les Molnyia ont été utilisés pour diverses expériences franco-soviétiques et notamment des transmissions d'images de télévision en couleurs.

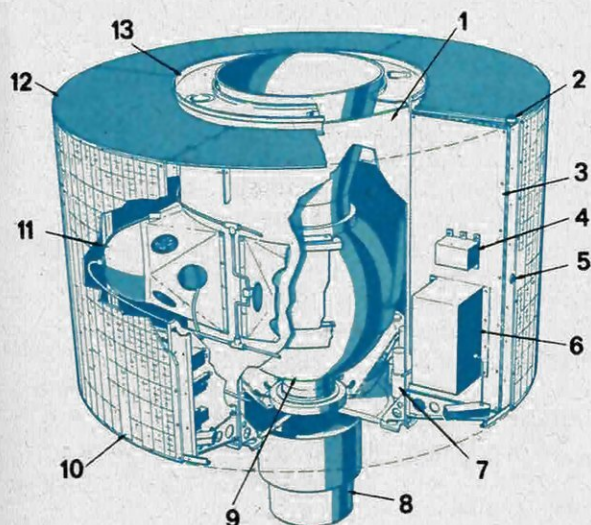
LES SATELLITES GÉOSTATIONNAIRES

Les satellites à défilement ne pouvant, comme nous venons de le voir, assurer de transmissions continues, ils imposent des horaires précis de vacation, ce qui est supportable pour des émissions expérimentales mais inconcevable en emploi courant. Afin d'assurer une permanence des liaisons avec des satellites à défilement, il faut prévoir la mise sur orbite d'un grand nombre de relais. Certaines études de l'ATT ont démontré

Placé sur orbite synchrone en avril 1965, Early Bird est le premier satellite commercial de télécommunications. Ci-contre, peu de temps avant le lancement, un technicien contrôle le fonctionnement des antennes. Early Bird constitue le développement des trois Syncom expérimentés précédemment.



Projet de satellite Intelsat : 1 - cylindre central; 2 - buse à gaz axiale; 3 - panneau support d'équipements; 4 - filtre du coupleur de télécommande; 5 - buse à gaz radiale; 6 - tubes amplificateurs à ondes progressives; 7 - déphaseur des antennes; 8 - antennes à contrôle électronique de phase; 9 - moteur d'apogée; 10 - panneaux de cellules solaires; 11 - réservoir d'hydrazine; 12 - panneau de fermeture avant; 13 - dispositif de séparation.



que pour couvrir le globe à 99,9 % par des satellites à orbite aléatoire, il faudrait 40 charges sur orbites circulaires polaires et une quinzaine sur orbite circulaire équatoriale. Un tel projet serait très onéreux.

La solution idéale réside naturellement dans l'utilisation de relais géostationnaires, c'est-à-dire placés sur des orbites telles qu'ils paraissent immobiles par rapport à un repère terrestre. Pour que ces conditions soient réalisées, il importe de placer la charge sur une orbite à 36 000 km d'altitude dans le plan équatorial. La période de révolution est alors de 24 heures. Trois relais, à 120° l'un de l'autre dans le plan de l'équateur terrestre, suffisent alors à couvrir le globe, à l'exclusion toutefois des deux calottes polaires.

L'obtention d'un satellite réellement sta-

tionnaire est naturellement assez délicate. Elle impose, soit l'utilisation d'une base de lancement située elle-même dans le plan de l'équateur, soit un changement du plan d'orbite obtenu par la mise en jeu de jets de gaz ou de petits moteurs-fusées. Dans le cas où l'orbite est inclinée par rapport au plan de l'Equateur, le satellite ne reste pas rigoureusement fixe par rapport au sol mais décrit un « huit » atteignant les latitudes correspondant à l'inclinaison de l'orbite (+ et - 33° dans le cas de Syncom I et II).

Un satellite stationnaire ne le demeure d'ailleurs pas sans que des corrections périodiques lui soient appliquées pour le maintenir en place ; la forme de son orbite est continuellement perturbée par des phénomènes divers, en particulier par la dissymétrie du champ gravifique due à l'inégale répartition des masses autour de l'équateur.

D'autre part, pour exploiter au maximum ses possibilités, ses antennes doivent demeurer orientées vers la Terre, ce qui implique un système de contrôle d'attitude. Si ces diverses corrections sont faites par réaction de jets gazeux, la provision qui en aura été faite au lancement conditionnera sa vie utile.

Le premier Syncom a été lancé le 14 février 1963 mais le contact radio a été perdu presque aussitôt ; bien qu'il ait pu être placé sur une orbite voisine de l'orbite désirée, il n'a pu être utilisé. Les résultats de Syncom II, par contre, furent excellents. Lancé le 26 juillet 1963, il fut placé tout d'abord au-dessus de l'Atlantique, puis transféré un an plus tard au-dessus du Pacifique au terme de deux mois de manœuvres délicates. L'opération, réussie, a permis à Syncom II de jouer le rôle de relais de secours de Syncom III lors de l'ouverture des Jeux Olympiques de Tokio. Syncom II a d'ailleurs collaboré à la mise sur orbite de Syncom III en relayant les communications de lancement entre les îles Philippines, Hawaï et les USA.

Syncom III, lancé le 19 août 1964, a été le premier satellite réellement stationnaire. Son immobilisation au-dessus de l'équateur, par 180 degrés de longitude, a nécessité des opérations complexes et des corrections délicates puisqu'il fut tiré du Cap Kennedy, à une latitude de l'ordre de 30 degrés. Son lanceur TAD (*Thrust Augmented Delta*, Delta à poussée accrue) a placé l'engin sur une orbite de transfert inclinée de 17° sur l'équateur, avec un apogée de 37 880 km et un périégée de 1 120 km. A son deuxième passage à l'apogée, un ordre de télécommande mit en action des fusées au perhydrol qui firent pivoter l'orbite de 10°. Au troisième passage à l'apogée, l'allumage du moteur d'apogée a placé le satellite sur une orbite

quasi circulaire dans un plan faisant un angle de 0,25° avec le plan équatorial. Ultérieurement, cet angle fut annulé par le fonctionnement des fusées de correction tandis que l'orbite était rendue parfaitement circulaire. La dérive du satellite, d'abord vers l'ouest puis vers l'est, fut stoppée par 180° de latitude.

Syncom III a transmis d'excellentes images télévisées des cérémonies d'ouverture des Jeux Olympiques, le 10 octobre 1964, et a réalisé plusieurs transmissions de courte durée au cours des jours suivants. Dans l'une d'elles, les signaux de télévision émis par Tokio ont été reçus en Californie via Syncom III, de là transmis par ondes ultra-courtes à la côte Atlantique, pour enfin parvenir en Europe via Relay I.

LES TÉLÉCOMMUNICATIONS SPATIALES COMMERCIALES

La mise sur orbite de Telstar I pour le compte de l'American Telephone and Telegraph et l'établissement d'une première liaison transatlantique ouvraient l'ère des télécommunications spatiales commerciales.

Tandis que, par le vote d'une loi, le Sénat américain créait une société privée pour défendre les intérêts américains dans ce domaine nouveau, le Département d'Etat, soucieux de ménager les susceptibilités des autres pays, tentait d'obtenir l'adhésion des Européens à leur programme de réseau mondial de télécommunications.

Les dix-huit pays membres de la Conférence Européenne des Postes et Télécommunications (CEPT), eurent l'occasion par diverses réunions de témoigner leur intérêt pour ce projet et d'affirmer leur solidarité. En 1963, fut créée une Conférence Européenne des Télécommunications par Satellites (CETS), qui eut par la suite des conversations approfondies avec les délégations américaines et canadiennes.

Deux accords furent signés le 24 juillet 1964. L'accord principal porte notamment sur la création d'un comité intérimaire des télécommunications mondiales par satellites (Intelsat) qui sera responsable du réseau mondial — donné cependant en gérance à la *Communication Satellite Corporation* (COMSAT) jusqu'en 1970 lorsqu'un accord définitif devra intervenir. L'accord souligne aussi que l'ensemble du système créé (satellites et installations au sol) est la propriété indivise des nations signataires de l'accord.

En attendant, et dès avril 1965, la Comsat mettait sur orbite géostationnaire son premier satellite commercial, Early Bird, par 27° de longitude ouest au large du Brésil.

L'opération fut une réussite complète. Cependant, du fait sans doute du tarif assez élevé, Early Bird n'est pas utilisé à plein puisque moins d'une centaine des 240 canaux téléphoniques disponibles sont exploités. C'est l'une des raisons pour laquelle la Comsat a cherché à passer des contrats de longue durée avec divers organismes américains. C'est ainsi que les satellites Comsat seront employés dans le cadre du programme Apollo, tandis que le Department of Defence, qui a déjà pris le contrôle de Syncom II partiellement et de Syncom III entièrement, a décidé de renoncer aux offres de la Comsat et de lancer son propre réseau. Il s'agira sans doute d'un système basé sur des satellites à orbite aléatoire et de moyenne altitude, lancés par des lanceurs économiques Thor-Delta, anciens missiles intercontinentaux récupérés. Il pourrait être complété par quelques satellites synchrones lancés par des Titan III.

Agissant au nom de l'Intelsat, la Communication Satellite Corporation a passé en septembre 1966 un contrat avec la TRW Inc. américaine, portant sur les premiers satellites internationaux qui doivent être en service dès 1968 ; TRW, de son côté, a réparti le travail de construction de ces six premiers relais entre onze entreprises internationales

dont Engins Matra et Laboratoire Central des Télécommunications (LCT) en France.

Au delà de ces projets largement internationaux, rappelons que le présent programme de l'ELDO pourrait conduire à la mise en place, grâce à un lanceur Blue Streak complété par un moteur d'apogée, d'un réseau de satellites purement européen.

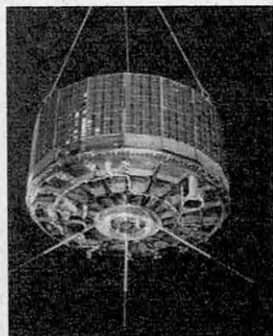
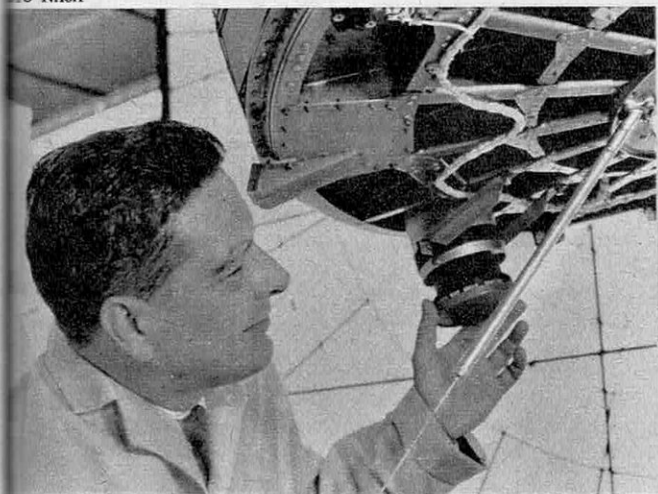
LES SATELLITES MÉTÉOROLOGIQUES

Science demeurée très empirique mais à laquelle on demande sans cesse plus de rigueur dans ses prédictions, la météorologie a trouvé dans les satellites artificiels de précieux instruments de travail. Les phénomènes météorologiques ne peuvent être considérés isolément, à une échelle que l'on pourrait dire locale ; ils forment un tout justiciable d'un réseau coordonné d'observations donnant une vue d'ensemble de la circulation atmosphérique à l'échelle planétaire et des perturbations qui lui sont associées. Le réseau météorologique international groupe des milliers de stations d'observation, mais avec une densité variable, souvent insuffisante, en particulier sur les océans et les régions désertiques ou polaires. Les satellites présentent l'avantage de pouvoir assurer la totalité de la couverture du globe.

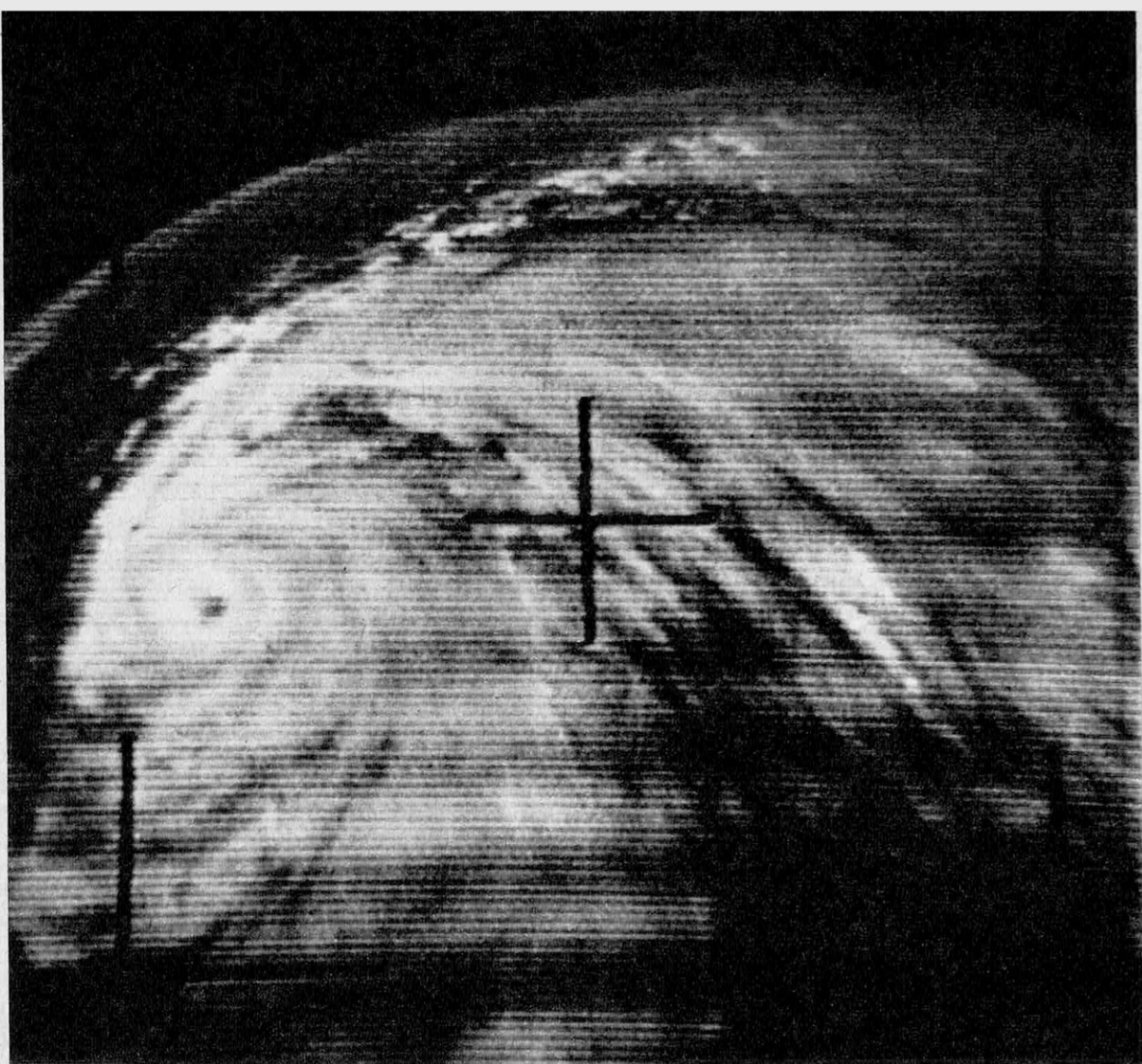
Le premier satellite portant un équipement pour l'étude de la répartition nuageuse par la mesure du rayonnement de l'atmosphère fut Vanguard II, lancé le 17 février 1959 ; mais ses mouvements désordonnés rendirent très difficile l'interprétation de ses observations et il cessa d'ailleurs d'émettre au bout de 18 jours. Quelques mois plus tard, Explorer VI, lancé le 7 août 1959, transmet les premières photographies à grande échelle de formations nuageuses, tandis qu'Explorer VII, lancé le 13 octobre de la même année, fournissait les premières mesures des rayonnements en provenance du sol et de l'atmosphère terrestre. Mais le premier satellite véritablement météorologique fut Tiros I, mis sur orbite le 1^{er} avril 1960.

Le sigle Tiros est formé des initiales de *Television and Infra-Red Observation Satellite*, qui définit exactement ses missions : transmettre par télévision les images des systèmes nuageux qu'il survole et mesurer le rayonnement infrarouge en provenance de la Terre. Ce fut le premier d'une série qui a connu une suite ininterrompue de succès, dix exemplaires ayant été placés sur orbite jusqu'à Tiros X, le 1^{er} juillet 1965, et les appareillages de bord ayant toujours fonctionné d'une manière satisfaisante. Véritables bancs d'essais technologiques, ils ont permis de dé-

ETO NASA



Ci-dessus, vérification des caméras avant le lancement d'un satellite Tiros. Ces caméras sont au nombre de deux à bord de chacun des engins de la série (ci-contre). Depuis 1960, plus de 500 000 clichés des couvertures nuageuses ont été transmis et diffusés à l'échelle mondiale.



finir les satellites opérationnels ESSA (Environmental Survey Satellites) du Bureau américain d'études météorologiques.

ESSA I, lancé le 3 février 1966, poursuit parfaitement sa mission, de même que ESSA II lancé quelques jours plus tard sur une orbite à plus grande altitude, mais elle aussi sensiblement circulaire et presque polaire. De conception et de forme semblables, ces deux satellites se différencient surtout par le mode de transmission des informations. ESSA I, qui tourne sur lui-même autour d'un axe perpendiculaire au plan de l'orbite (satellite-roue) à raison d'une dizaine de tours par minute, photographie la Terre avec ses deux caméras suivant un programme télécommandé en fonction notamment de l'altitude du satellite, pratiquement toutes les 260 secondes, et stocke les images sur bande magnétique pour les retransmettre sur télécommande du sol à deux stations seulement, l'une à Fairbanks, en Alaska, l'autre à l'île Wallops, en Virginie. ESSA II, par contre, transmet en « temps réel » par le système APT (*Automatic Picture Transmis-*

Les satellites météorologiques se sont révélés particulièrement précieux dans l'observation des typhons tropicaux. On peut maintenant évaluer de

façon précise leur ampleur et suivre leur progression. Ci-dessus le typhon Opale, photographié au large des Iles Philippines par Tiros V en août 1962.

sion) essayé pour la première fois avec Tiros VIII ; il prend toutes les 352 secondes un cliché qui est analysé aussitôt pour transmission immédiate, avec une cadence de balayage très lente de l'ordre de 4 lignes seulement par seconde, permettant l'émission sur très faible largeur de bande et autorisant par conséquent une simplification notable du matériel de réception. De nombreuses stations au sol, réparties dans le monde entier, se sont équipées ainsi d'une simple antenne hélicoïdale à orienter dans la direction du satellite, d'un radiorécepteur du type classique et d'un appareil de fac-similé qui leur permettent d'obtenir à relativement peu de frais une représentation de la couverture nuageuse dans un rayon assez large.

Photographie de la couverture nuageuse au-dessus de l'Atlantique, de la Grande-Bretagne et de l'Ouest de la France prise par un satellite Tiros. Enregistrée sur ruban magnétique, l'image a été transmise sur demande lors d'un passage du satellite au voisinage de la station réceptrice de Point-Mugu.



L'équipement des satellites Nimbus est réparti en deux ensembles reliés par des armatures métalliques; le caisson inférieur renferme les appareils de prise de vue en lumière visible, les radiomètres infrarouges, les enregistreurs, les systèmes de transmission différée ou automatique des images.



En tout, il est prévu de mettre sur orbite neuf satellites ESSA qui devraient couvrir les besoins mondiaux jusqu'en 1970. ESSA III, du même type que ESSA I et lui faisant suite, a été lancé le 2 octobre 1966.

Aux missions photographiques s'ajoutent comme nous l'avons dit les mesures radiométriques, dont les données sont transmises aux stations terrestres suivant les mêmes techniques d'enregistrement sur bande magnétique et lecture sur télécommande. A bord des Tiros, deux radiomètres, l'un à large champ, l'autre plus fin, mesurent les rayonnements de la Terre et de l'atmosphère dans certains domaines de longueurs d'onde sélectionnés par un système de filtres. On en déduit l'énergie transmise sous forme de rayonnement par l'atmosphère, comprenant la fraction d'énergie solaire renvoyée par notre planète (l'« albedo ») et celle rayonnée directement dans l'infrarouge, données précieuses pour l'établissement du bilan thermique du globe. Diverses mesures de températures deviennent aussi possibles, tant de la mer que du sol et aussi du sommet des

nuages, d'où se déduit leur altitude, indication essentielle pour leur identification.

Les satellites météorologiques sont assez complexes du fait des nombreuses fonctions qu'ils doivent assurer : production d'énergie, prise de vue, transcription sur bande magnétique, transmission, etc. Les problèmes de satellisation, notamment, sont très ardues puisque l'orientation des caméras doit être rigoureusement connue pour l'exploitation des clichés. Les satellites du type Tiros sont satellisés par rotation (spin) de sorte qu'ils conservent en principe leur orientation non par rapport à la Terre, mais par rapport au système inertiel défini par les étoiles ; en fait, les actions magnétiques et gravitationnelles provoquent un basculement de l'axe de rotation (précession) qui réduit fortement le rendement des prises de vues lorsque l'orientation des caméras est défavorable.

Les satellites expérimentaux du type Nimbus présentent à ce point de vue, et aussi à bien d'autres, des améliorations appréciables. Ils sont mis sur orbite polaire et sont complètement stabilisés suivant les trois axes grâce à un système de commande d'attitude utilisant des volants d'inertie et des jets gazeux, en l'espèce de fréon : l'axe du satellite demeure pointé suivant la verticale et un plan de référence fait un angle fixe avec un méridien terrestre. Le système photographique principal consiste en trois caméras Vidicon, l'une visant suivant la verticale, les deux autres inclinées de part et d'autre de 35° ; elles fonctionnent simultanément à intervalles de 90 secondes et couvrent ensemble une bande de 800 km dans le sens Nord-Sud, sur 2 400 km dans le sens Est-Ouest ; ces images sont stockées sur bande magnétique pour être transmises sur commande à une station de réception au sol. Une quatrième caméra assure des émissions en temps réel (APT). D'autre part, un système de détecteurs infrarouge à grande sensibilité a été réalisé pour prendre de nuit des images de la couverture nuageuse des régions survolées ; ainsi les Nimbus doublent-ils pratiquement leur rendement.

Mis sur orbite le 28 août 1964, Nimbus I devait fonctionner six mois, mais n'a pu émettre que pendant 26 jours par suite d'une défaillance du système d'orientation de ses panneaux solaires vers le Soleil. Il n'en avait pas moins transmis déjà 27 000 clichés. Le second Nimbus, lancé le 15 mai 1966, alimente en permanence 150 stations de réception terrestres ; au cours de ses deux premiers mois de vie, il a transmis plus de 150 000 photographies. Un troisième Nimbus doit être tiré à la fin de 1967.

Au nombre des autres projets de satel-

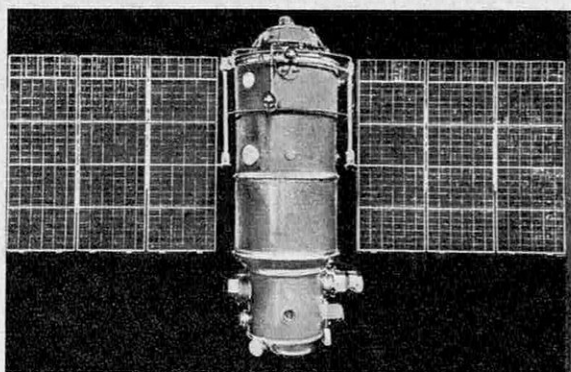
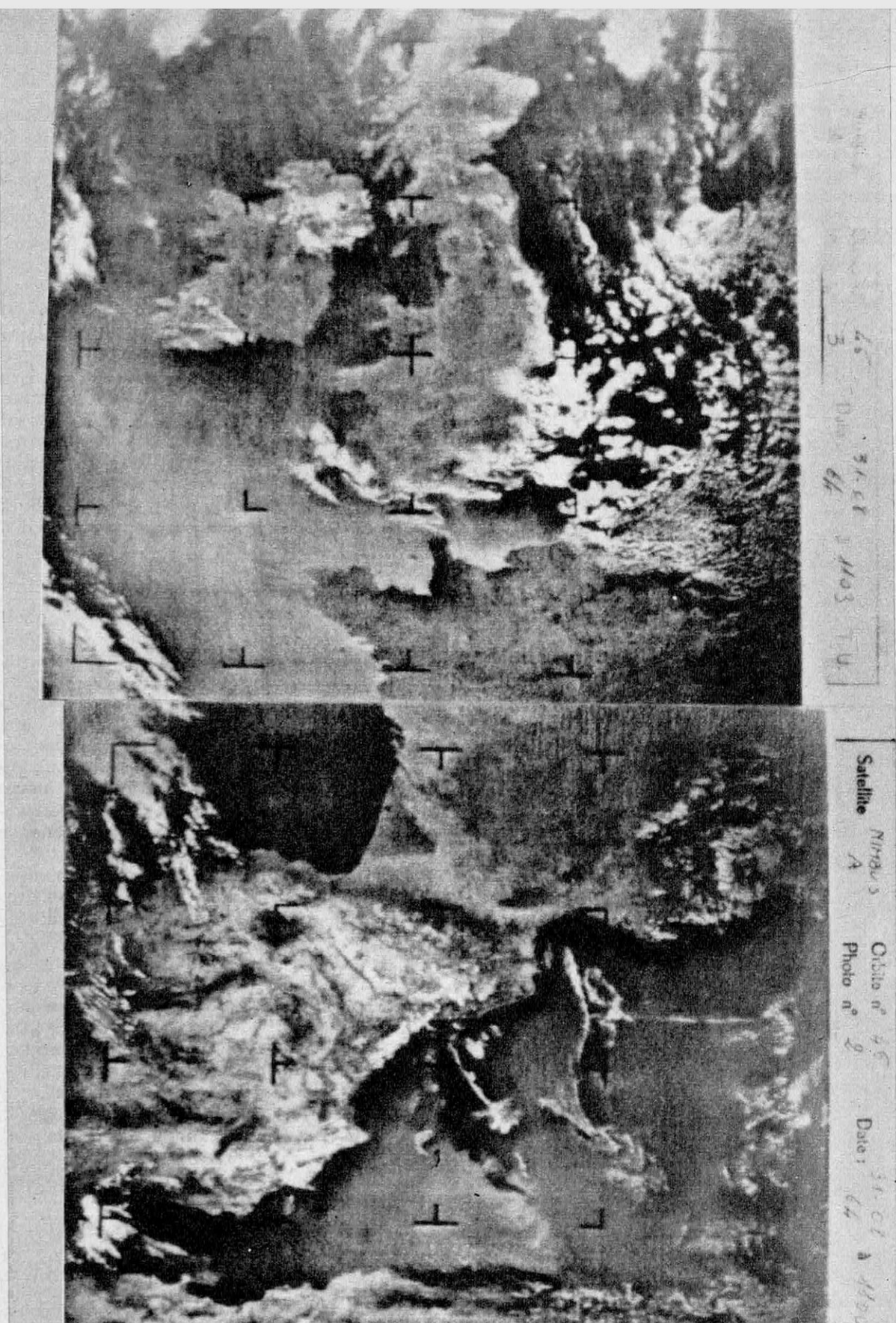


PHOTO APN

Lancé par les Soviétiques le 25 juin 1966, Cosmos 122 est équipé de deux caméras de télévision pour photographier les couvertures nuageuses dans les régions éclairées de

la Terre et de capteurs infrarouges pour les régions plongées dans l'obscurité ; il emporte aussi des appareils de mesure des rayonnements reçus ou émis à travers l'atmosphère.

lites, signalons aux Etats-Unis les ATS (*Advanced Technology Satellite*) et en France le projet Eole. Le premier ATS expérimental a été lancé le 7 décembre dernier ; il est du type géostationnaire à orbite équatoriale et a été placé au-dessus du Pacifique par 151° de longitude Ouest. Ses fonctions sont multiples ; il est capable d'assurer des relais de télécommunications, y compris des émissions de télévision en noir et en couleurs, entre l'Amérique du Nord, l'Asie et l'Australie, et des liaisons vocales avec des avions en vol, et aussi de photographier les formations nuageuses et de suivre en particulier le développement des cyclones dans la large zone qu'il couvre, transmettant des données météorologiques à grande distance. Quant au projet Eole, il vise à l'étude des basses couches de l'atmosphère par des ballons dérivant à altitude constante pendant de longues durées et portant des instruments de mesure de la pression et de la température. Un satellite spécialisé (qui serait le satellite français D-3) interrogerait successivement les ballons qui, munis d'un répondeur, transmettraient les éléments météorologiques mesurés par modulation du signal de retour, une mesure du type radar donnant en même temps les distances les séparant du satellite et fournissant ainsi leur position géographique. On réaliserait ainsi un véritable « sondage horizontal » de l'atmosphère. On pense que le satellite conçu pour interroger les ballons pourrait être adapté à l'interrogation de bouées océanographiques judicieusement disséminées, permettant l'étude du milieu marin jusqu'à une certaine profon-



Le système APT permet la transmission en trois minutes des clichés pris par les satel-

lites de météorologie. La qualité des documents est excellente ainsi que le montre le

montage de deux photographies prises par Nimbus I au-dessus de l'Europe occidentale et

de l'Afrique du Nord. Les photographies ont été enregistrées par la station de Lannion.

deur et des interactions entre l'océan et l'atmosphère à l'échelle globale.

Du côté soviétique, les recherches dans le domaine de la météorologie ont fait jusqu'ici l'objet de peu d'informations. Elles sont menées avec certains satellites de la série Cosmos et avec les Molnya ; jusqu'ici les clichés publiés dans le cadre d'accords de coopération avec les U.S.A. ne témoignent pas d'un stade d'évolution très avancé.

En contribuant à l'amélioration de la prévision du temps, les satellites météorologiques seront sans doute l'application spatiale la plus directement bénéfique pour le grand public.

LES SATELLITES

DE RADIONAVIGATION

Les véhicules modernes de navigation au long cours posent de graves problèmes de navigation. Dans le domaine militaire, un sous-marin nucléaire doit pouvoir prononcer une attaque par missiles à longue portée au terme d'une navigation de plusieurs semaines en plongée et sa position de tir doit

être connue avec la plus grande précision. En matière d'aviation civile, l'utilisation de repères rigoureux peut correspondre à une amélioration du rendement et de la sécurité des transports supersoniques.

Le principe de la navigation par satellites consiste à déterminer au moyen d'ondes radioélectriques la distance séparant à un instant donné un avion, par exemple, d'un satellite dont la position est bien déterminée.

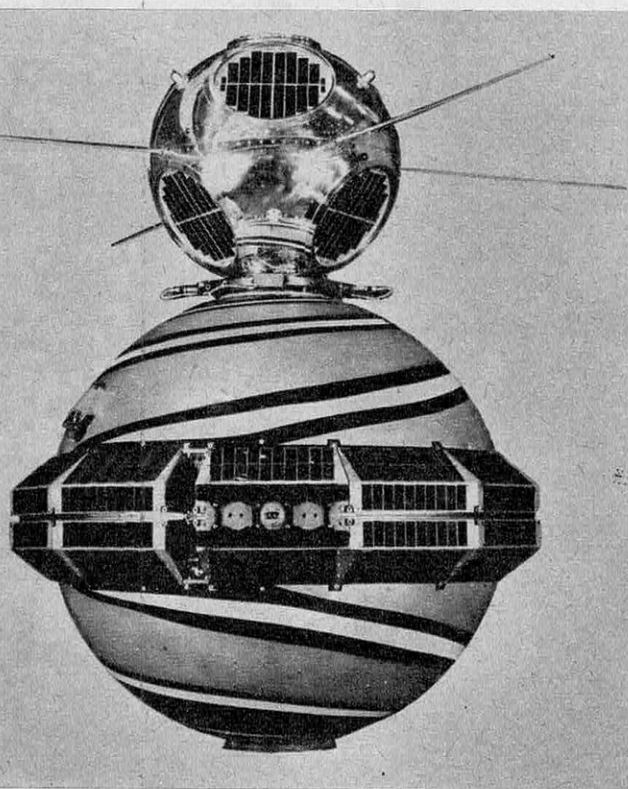
Une méthode consiste à mesurer l'altération en fréquence subie par l'onde radioélectrique émise par le satellite en fonction de son déplacement par rapport à la station d'observation, avion ou navire (effet Doppler). Toutes les informations relatives à la trajectoire du satellite sont stockées à bord et émises par radio à intervalles réguliers, de même que le temps de référence qui indique l'heure de la rencontre. Ces informations doivent être constamment mises à jour par les stations de poursuite au sol pour tenir compte des perturbations de l'orbite.

L'acquisition d'une précision convenable pose des problèmes : la traversée de l'ionosphère réfracte les ondes radio, ce qui se traduit par une réduction de l'effet Doppler, inversement proportionnelle au carré de la fréquence utilisée. On doit en tenir compte dans le choix des fréquences comme des paramètres de l'orbite. En pratique, on utilise la bande de fréquence de 50-400 mégacycles, en recoupant chaque mesure par une seconde, prenant pour base une fréquence différente de la première. On a proposé la réalisation d'un réseau opérationnel mondial de 4 satellites polaires à orbites circulaires d'altitude voisine de 1 000-1 100 km, les plans des orbites étant espacés de 45°.

Jusqu'à présent les applications ont été surtout militaires. Il en est ainsi de la série des Transit américains, dont le premier, Transit I B, fut mis sur orbite le 13 avril 1960. Une dizaine de Transit, dont certains équipés d'un générateur nucléaire pour l'alimentation des émetteurs, ont été lancés à ce jour, sans compter ceux qui peuvent figurer dans la rubrique des « satellites secrets ». Il est vraisemblable que, du côté soviétique, plusieurs satellites de la série des Cosmos répondent à la même mission.

Sur le plan civil, divers systèmes sont en étude, mettant en jeu un ou plusieurs satellites et un réseau de stations terrestres implanté dans le cadre d'accords internationaux. Ils devraient permettre à un navire de relever sa position toutes les heures et à un avion rapide toutes les quatre minutes, l'opération ne demandant que quelques dixièmes de seconde.

Roland de NARBONNE



Dès 1960 une fusée Thor-Able de l'U.S. Air Force tentait de placer simultanément sur orbite le satellite de radionavigation Transit 2A et un petit

satellite de mesure des radiations solaires. Malheureusement, la séparation des deux engins ne put s'effectuer normalement après mise sur orbite.

L'ESPACE ET SON UTILISATION MILITAIRE

Suggérées avant même les premières réalisations de l'astronautique, les utilisations militaires de l'espace trouvent leur source dans le « bombardier antipodal » étudié par l'Allemagne dès 1944. Propulsé par fusée, l'appareil eût rejoint sa base de lancement après un tour complet de la Terre et quelques ricochets sur l'atmosphère. Le Dr Walter Dornberger, ancien commandant du centre de Peenemünde et constructeur des V-2, reprit l'idée vers 1950, lorsque les Etats-Unis commencèrent à étudier la mise sur orbite des premiers satellites. Il obtint même à l'époque quelques crédits du Département de la Défense. Dans le manifeste qu'il opposait encore en 1961 aux décisions du président Eisenhower plaçant les activités spatiales sous le contrôle de la NASA, l'Administration civile de l'espace et de l'aéronautique, le Dr Dornberger affirmait que les missiles intercontinentaux tirés à travers l'espace ne sont pas plus des véhicules spatiaux que les projectiles d'artillerie tirés dans l'atmosphère ne sont des avions. « Je demande, ajoutait-il, des véhicules sur orbite, avec et sans équipage, manœuvrables, précis et récupérables. »

Les chefs de l'U.S. Air Force partageaient à l'époque les idées du Dr Dornberger et soutenaient la nécessité d'une stratégie spatiale. En juin 1960, le général Power, commandant le *Strategic Air Command*, déclarait : « De même que la suprématie aérienne au cours de la Seconde Guerre mondiale signifiait la victoire dans la bataille terrestre, de même la maîtrise de l'espace peut fort bien entraîner la maîtrise du globe dans une prochaine guerre. Nous ne pouvons pas

prévoir quels problèmes soulèvera l'extension de nos défenses à des centaines ou à des milliers de kilomètres au-dessus du sol. Mais leur solution peut fort bien exiger la mise sur orbite de véhicules pilotés, placés en alerte permanente autour de la Terre. »

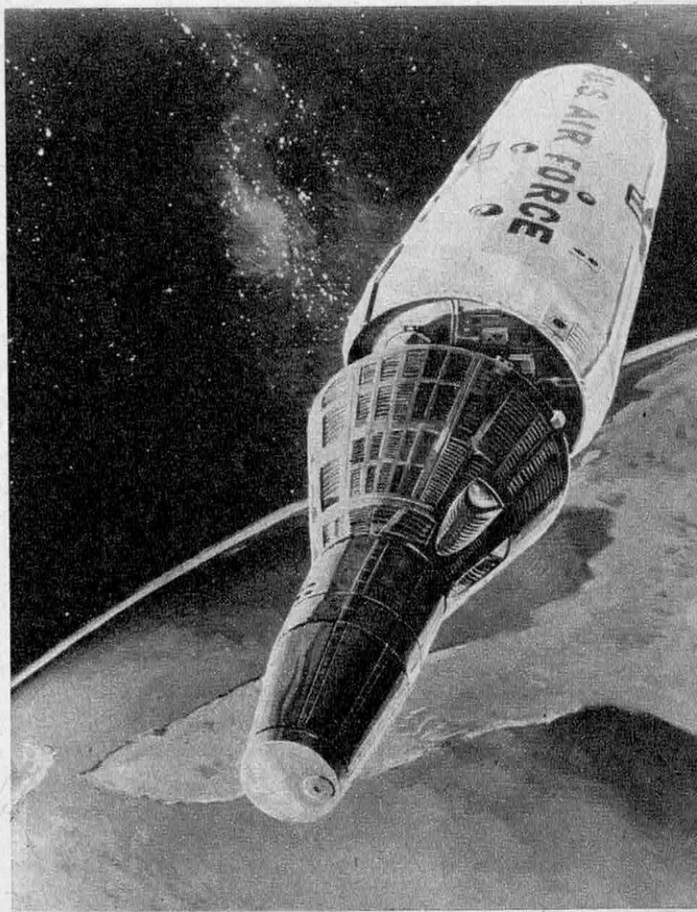
LES SATELLITES D'OBSERVATION

De toutes les missions qu'on peut demander aux satellites, c'est dans l'observation qu'ils ont remporté, aux Etats-Unis comme en URSS, les succès les moins contestables.

Leur étude se poursuit aux Etats-Unis depuis le premier lancement, le 28 février 1959, d'un Discoverer de l'U.S. Air Force. C'est en particulier sur les Discoverer qu'ont été mis au point les systèmes d'observation optique des Samos (*Satellite and Missile Observation System*) et infrarouge des Midas (*Missile Defense Alarm System*). Leurs lancements ont permis d'étudier l'injection précise sur orbite, le contrôle d'attitude,

Un vaste programme d'expériences sur l'utilisation militaire de l'espace sera confié au laboratoire orbital (M.

O.L.) de l'US Air Force; le M.O.L. emportera deux astronautes pour une mission longue d'un mois environ.

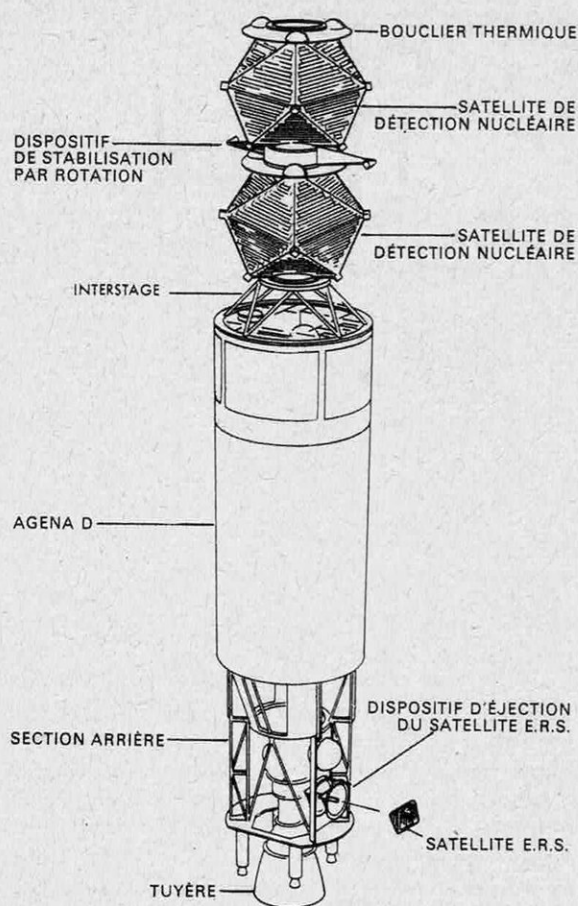


l'éjection de l'orbite, la rentrée et la récupération par un avion du satellite accroché à un parachute. Les Discoverer sont mis sur orbite soit par un Thor, soit par un Atlas. Le deuxième étage de ces véhicules, l'Agena construit par Lockheed, est alimenté en diméthylhydrazine et acide nitrique, avec une impulsion spécifique de 250 secondes et une poussée de 6 800 kg. Il peut être arrêté et remis en marche à volonté.

Le Samos a reçu la priorité numéro 1 après la destruction, en mai 1960, d'un avion de reconnaissance Lockheed U-2 au-dessus de l'URSS. Au poids de 1 860 kg, sur orbite polaire entre 160 et 480 km d'altitude, il a été lancé pour la première fois avec succès par un Atlas-Agena le 31 janvier 1961. La capsule est fournie par la General Electric, avec un équipement photographique et de télévision d'Eastman Kodak. Les Samos sont récupérables par accrochage de leur parachute tout comme les Discoverer. La question de la limite supérieure de l'atmosphère et de la limite inférieure de l'espace où l'on aurait le droit de pratiquer l'observation photographique a été discutée à leur propos. Aux quelques protestations, non officielles, de l'URSS, les Etats-Unis ont répondu que les Vostok et leurs cosmonautes avaient survolé à plus faible altitude encore les Etats-Unis. Quoi qu'il en soit, les dizaines de Samos mis sur orbite depuis 1961 ont permis de suivre la construction des bases souterraines soviétiques de missiles intercontinentaux et les préparatifs des explosions nucléaires chinoises.

Il semble que le programme des Midas, placés sur orbite par les mêmes Atlas-Agena que les Samos, n'ait pas connu le même succès. On avait la prétention de détecter, avec les Midas, l'émission infrarouge des missiles adverses pendant les quelques minutes où fonctionnent leurs fusées, donc de doubler le délai d'une quinzaine de minutes pendant lequel le radar peut suivre la trajectoire d'un missile à portée intercontinentale. Il semble qu'on ait rencontré quelques difficultés pour distinguer l'émission d'une fusée de celle des autres sources d'infrarouge telles qu'un haut-fourneau. La détection des trajectoires par radar « au-dessous de l'horizon » a donné depuis une autre solution au même problème. Néanmoins, le projet n'a pas été abandonné. Il est orienté par l'U.S. Air Force dans la voie d'un satellite d'observation stationnaire auquel on pourrait confier d'autres missions.

Le projet Vela visait la détection des explosions nucléaires conduites à très grande distance dans l'espace. Chaque satellite portait des appareils pour détection des rayons X

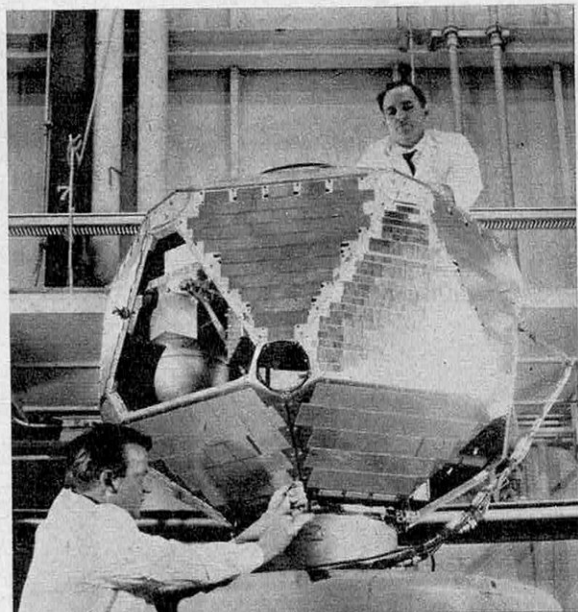


Programme Vela : les deux engins de détection nucléaire sont disposés en tandem au sommet de l'étage Agena du lanceur.

et des rayons gamma. Deux d'entre eux ont été placés sur orbite circulaire à 108 000 km de la Terre le 17 octobre 1963, deux autres le 17 juillet 1964 et deux autres le 20 juillet 1965.

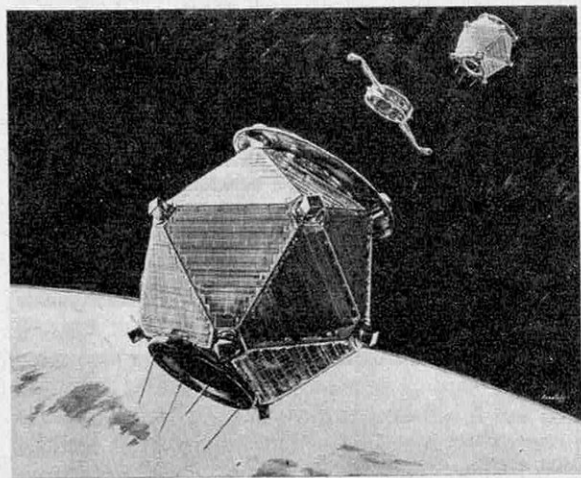
Partie plus tard, l'URSS a multiplié plus rapidement encore que les Etats-Unis le nombre de ses Cosmos mis sur orbite depuis mars 1962, à des fins dont l'observation est la principale. Le cent vingt-deuxième a été lancé le 25 juin dernier devant le général de Gaulle, à la base de Baïkonour, et les lancements se succèdent toujours.

S'ils n'envisagent pas de placer des charges nucléaires sur orbite, les Etats-Unis se sont préoccupés d'étudier une parade éventuelle. Le projet Saint (*Satellite Interceptor* à l'origine, devenu sans changement de sigle *Satellite Inspection Technique* après protestation de personnes que choquait cette dénomination appliquée à la guerre spatiale) vise l'interception, avec ou sans inspection, des satellites jugés dangereux. Leur destruction par la charge d'un satellite ou d'un mis-



▲ Un satellite de détection nucléaire en cours de montage; au poids de 240 kg environ, il comporte 18 panneaux de cellules solaires pour l'alimentation de ses divers équipements électroniques.

▼ L'Agena libère l'ensemble satellites-dispositif de stabilisation sur une orbite de transfert; stabilisés à 30 révolutions/mn, les satellites sont rapidement séparés par un système de ressorts.



sile défensif ne présente pas de difficulté particulière. Mais on risque de gaspiller les charges explosives contre les « decoys » — les leurres — dont l'adversaire ferait accompagner ses satellites offensifs.

Un projet plus ambitieux encore, Bambi (*Ballistic Missile Booster Interceptor*) suppose la mise sur orbite d'un essaim d'un millier de satellites à faible altitude pour détruire les véhicules de lancement de l'adversaire, que ce dernier choisisse comme arme

offensive le satellite ou le missile. On pourrait ainsi s'attaquer aux véhicules-fusées sur la portion ascendante de leur trajectoire, alors qu'ils n'auraient pas encore pu se faire accompagner de leurres.

LES SATELLITES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

Après une tentative, sans succès, pour établir un programme commun avec la COMSAT, où le gouvernement américain détient la majorité, le Département de la Défense s'est décidé à lancer, en juin dernier, les premiers satellites de télécommunications réservés exclusivement aux utilisations militaires.

Plusieurs tentatives, portant sur des satellites « passifs » ou « actifs » avaient précédé ce lancement.

Les satellites passifs, comme Echo I, Echo II, sont les plus simples. Ils réfléchissent vers la Terre, à la manière d'un avion pris dans un pinceau de radar, une fraction de l'énergie émise. Les satellites actifs, au contraire, l'amplifient avant réémission.

Le premier inconvénient du satellite passif est le mauvais rendement de ce relais, qui exige de puissantes stations terrestres à l'émission et à la réception. Trois ans avant les Spoutnik, les Bell Laboratories, responsables de la difficile électronique du premier satellite passif, Echo I, en précisait déjà l'extrême faiblesse. Sur une puissance à l'émission de 10 kilowatts, malgré des antennes de 25 m de diamètre pointées à moins d'un dixième de degré près, on avait calculé qu'un milliardième de watt seulement revenait à la réception.

Son deuxième inconvénient est sa faible durée. Avec ses 62 kg de plastique métallisé en forme d'une sphère de 30 m de diamètre, Echo I avait des dimensions trop importantes et des parois trop minces pour ne pas être, croyait-on, rapidement percé et dégonflé par les micrométéorites : on n'en escomptait qu'une durée de dix jours. On a été agréablement surpris par la lenteur du dégonflement que l'on suit par les variations simultanées, sous l'effet du plissage, de son pouvoir réflecteur des ondes lumineuses comme des ondes hertziennes. Lancé en août 1960, il a pu servir jusqu'en avril 1962 aux premiers essais de l'U.S. Air Force sur la retransmission spatiale de télévision. Sur Echo II, lancé en janvier 1964, la rigidité a été encore améliorée; le ballon est constitué cette fois d'une couche de Mylar de 0,018 mm d'épaisseur entourée de deux couches d'aluminium.

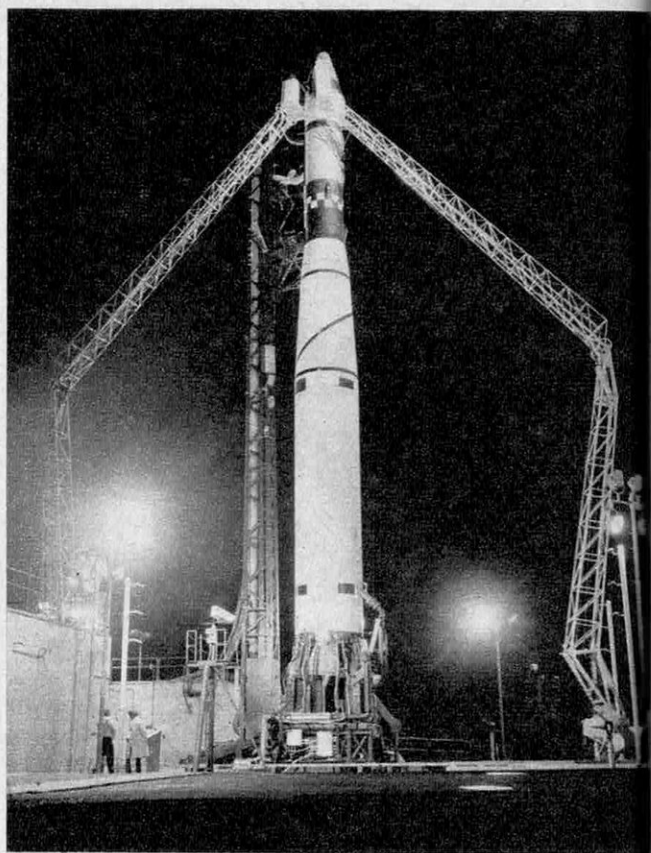
L'ingénieux projet Needles (aiguilles) de l'U.S. Air Force, devenu par la suite projet Westford, présente une solution intermédiaire

re entre les satellites passifs et les satellites actifs. Les antennes satellisées sont réduites au minimum d'épaisseur : un fil métallique au diamètre de la moitié d'un cheveu. Leur longueur, dépendant de la fréquence choisie pour la retransmission, ne dépasse pas quelques centimètres. Leur nombre atteint quelques milliards, avec un écartement de l'ordre de la centaine de mètres. On entoure ainsi la Terre d'une véritable ceinture d'aiguilles-antennes réfléchissant les ondes émises avec un rendement très supérieur à celui d'un ballon.

Le projet souleva aussitôt les protestations des astronomes et des spécialistes en communications spatiales. Si l'on ensemence la haute atmosphère à 2 000 ou 3 000 km de fils métalliques auxquels on aura imprimé la vitesse de satellisation et qui ne redescendront donc pas se consumer dans la basse atmosphère avant des dizaines d'années, ne risque-t-on pas de gêner la radioastronomie et les communications futures avec les véhicules spatiaux ? Les conseillers scientifiques du président Kennedy ont fini par se rendre aux raisons des techniciens de l'U.S. Air Force défendant l'innocuité de leur tentative. Un premier essai eut lieu en 1961. Mais le « semoir » à antennes, qui avait donné satisfaction à terre, ne fonctionna pas. Renouvelé en 1963, l'essai fut concluant, sans que les milieux scientifiques aient pu observer aucun des troubles prophétisés.

Le satellite actif, dont Score a été le premier en décembre 1958, comporte un dispositif d'amplification alimenté par l'énergie solaire, rechargeant une batterie pour son fonctionnement lorsque le satellite se trouve dans l'ombre de la Terre. Plusieurs formules se concurrencent, celle des satellites de répétition et celle des satellites-relais, les derniers se classant eux-mêmes en satellites à défilement et en satellites stationnaires.

Le principe des premiers, mis en œuvre sur les Courier, est celui d'une transmission différée. Le message est envoyé de la station émettrice par téléscripneur-radio, enregistré sur ruban magnétique et restitué au commandement, quelques minutes ou dizaines de minutes plus tard, lorsque le satellite passe au voisinage de la station réceptrice. La transmission différée exclut ainsi l'interception et le brouillage si le satellite est assez bas, à une altitude de l'ordre de 100 km par exemple. Emission et réception se font, par modulation de fréquence, sur ultrafréquences insensibles aux orages magnétiques (bandes de 1 700 à 2 300 MHz). Alimenté par 20 000 cellules solaires, l'équipement pesait à peine 135 kg et était incorporé dans une sphère de 1,30 m pesant



Derniers préparatifs avant le départ d'un lanceur Thor-Agena de l'US Air Force; l'étage Thor, fabriqué

par Douglas, est très largement utilisé pour les satellites militaires américains, ceux d'observation notamment.

220 kg. Le ruban magnétique d'enregistrement se déroule à une vitesse 38 fois supérieure à celle de la parole. Il permet l'émission à raison de 68 000 mots par minute soit, selon les calculs du communiqué officiel, celle des 773 693 mots de la plus récente version américaine de la Bible en moins de 12 minutes. La capacité des quatre bandes magnétiques miniaturisées du satellite est d'ailleurs limitée à 272 000 mots. Le premier lancement du Courier I-A, étudié par Philco, échoua par mauvais fonctionnement de la fusée ; celui du Courier I-B réussit le 4 octobre 1960. L'orbite avait été choisie à dessein à grande altitude entre un périégée de 970 km et un apogée de 1 210 km, pour permettre une étude prolongée. Le Courier I-B fut rendu silencieux fin 1961, sur commandement du *Signal Corps*.

Par opposition aux satellites de répétition, qui fonctionnent en « temps différé », les satellites-relais sont dits en « temps réel ». Deux solutions conviennent pour l'orbite, celle du satellite « à défilement » sur altitude moyenne de 1 000 à 10 000 km, celle du sa-

tellite « stationnaire » ou « synchrone » à 36 000 km environ.

La première liaison transatlantique permettant la transmission simultanée de 600 conversations téléphoniques ou d'un programme de télévision remonte à la mise sur orbite par l'A.T.T., l'American Telephone and Telegraph, de Telstar I en juillet 1962. Sa mise en place et les premiers essais de « mondovision » ont été un succès complet. La liaison transatlantique put être établie entre la station d'Andover aux Etats-Unis, une station de même type construite en France à Pleumeur-Bodou et une station d'un modèle différent à Goonhilly (Grande-Bretagne). Fin 1962, un des transistors du système de commande lâcha, sous l'effet des ceintures de radiations Van Allen qu'il traversait. La réparation en vol fut le triomphe des techniciens de l'A.T.T. Ils réussirent à isoler le transistor défaillant qui, dans le système binaire avec lequel on communiquait les ordres à Telstar, chiffrés en points et en traits, était chargé de la réception des points figurant les zéros. On parvint, en émettant des traits avec crochets, à déconnecter la tension aux bornes du transistor, à le laisser se reposer le temps qu'il guérisse et à reprendre, un mois après, les communications. Telstar II, un deuxième satellite du même type équipé en transistors mieux protégés contre les radiations, a été placé sur orbite en mai 1963.

Commandé à la R.C.A., la Radio Corporation of America, le satellite Relay I fut mis sur orbite, par un Thor-Delta également, le 13 décembre 1962. Les mêmes missions étaient demandées à Relay et à Telstar : liaisons téléphoniques, relais de télévision. Relay II suivit, le 21 janvier 1964.

La mise sur orbite de Syncom I (*Synchronous Communications*) construit par Hughes Aircraft, c'est-à-dire d'un satellite qui décrit son orbite circulaire à 36 000 km dans le même temps que la Terre met à tourner sur elle-même, a été faite, toujours par un Thor-Delta, le 14 février 1963. Interrompue au bout de 20 secondes seulement de fonctionnement, l'opération fut reprise le 26 juillet 1963 avec Syncom II, mis en place au-dessus du Brésil. En octobre, Syncom III réussissait une retransmission parfaite des Jeux Olympiques. Depuis janvier 1965, le *Department of Defense* utilise ces satellites pour les communications avec les troupes en opération en Extrême-Orient.

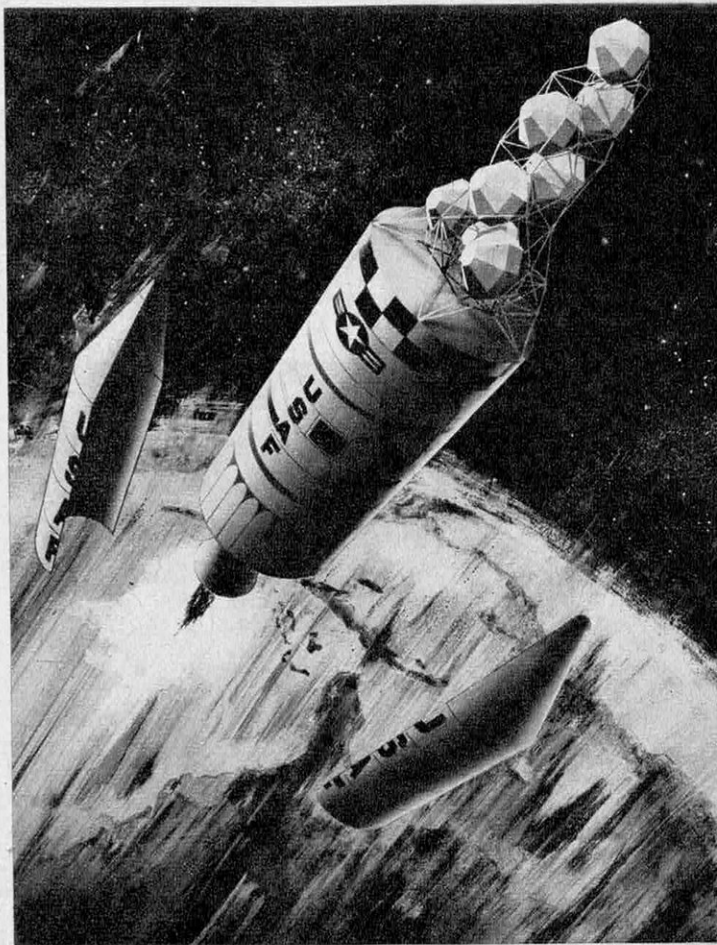
Le premier lancement d'un programme militaire dit « initial » (IDCSP — *Initial Defense Communications Satellite Program*) a été exécuté l'été dernier par un Titan III C. Il portait sur un ensemble de

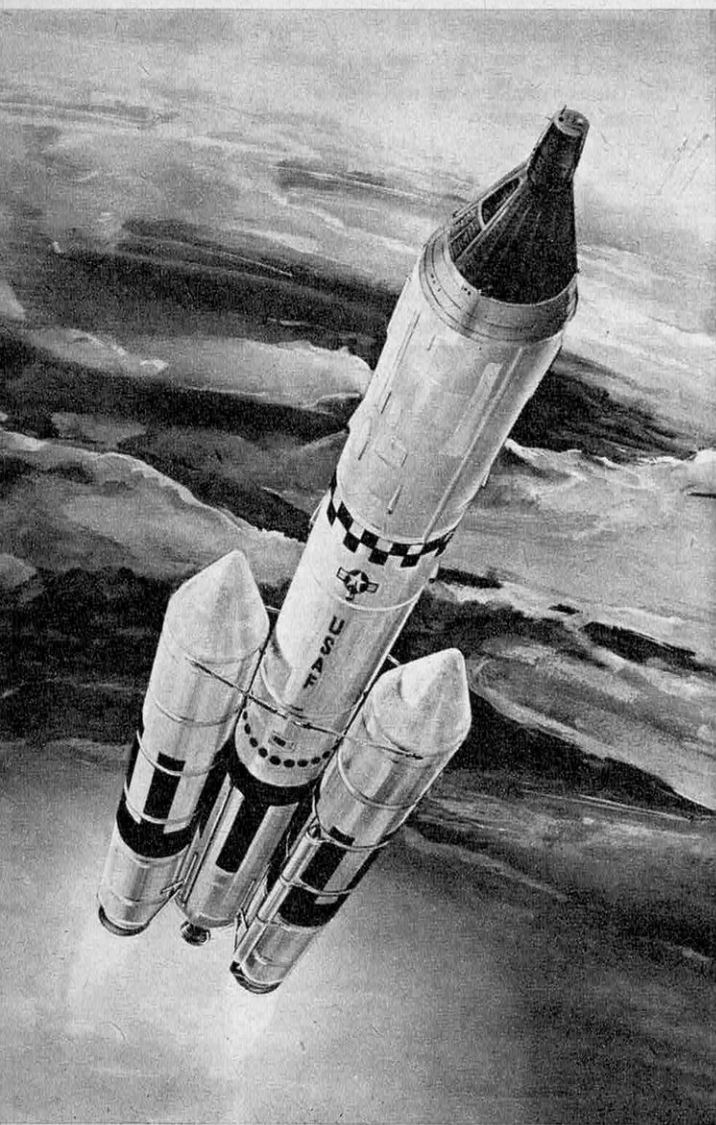
8 satellites Philco à stabilisation gyroscopique de 45 kg chacun, placés à 34 000 km sur orbite quasi-synchrone, auquel on avait ajouté à titre d'expérimentation un satellite stabilisé par gradient de gravité. L'antenne était alimentée sous 3 watts. Trois autres lancements étaient prévus jusqu'à la fin de l'année, à la suite de quoi le système deviendrait opérationnel.

Un programme avancé (ADCSP, *Advanced Defense Communications Satellite Program*) suivra, en cours d'établissement lors du deuxième semestre. Bien qu'il vise essentiellement les communications, on prévoit de lui ajouter des missions de navigation et de météorologie. Chacun des satellites du programme avancé devrait pouvoir établir trente fois plus de liaisons que ceux du programme initial, avec garanties contre le brouillage des communications et la violation de leur secret. Le choix entre la stabilisation gyroscopique et la stabilisation par

Le 16 juin 1966, une fusée Titan III C plaçait sur orbite 8 satellites de télécommuni-

cations militaires. On voit ici l'éjection de la coiffe protégeant la charge à satelliser.





Le Titan III C, le plus puissant des lanceurs de l'US Air Force, sera utilisé pour la mise en orbite du M.O.L. (ci-contre).

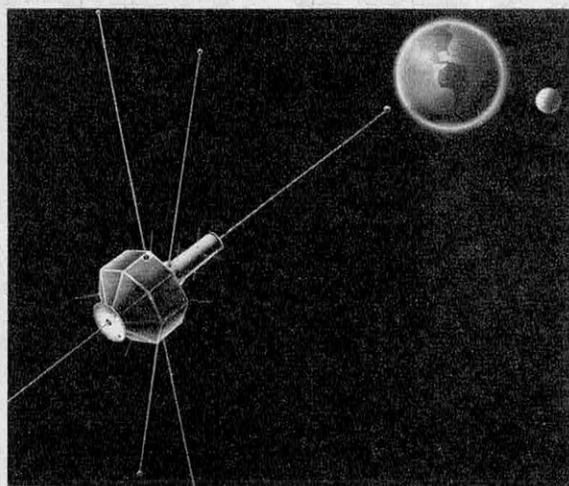
gradient de gravité dépendra des résultats obtenus lors des lancements du programme initial.

A ce réseau de satellites, qualifié de « stratégique » et destiné à des communications lointaines, entre Washington et les théâtres d'opérations par exemple, doit s'ajouter vers 1971-72 un réseau « tactique » destiné à satisfaire les besoins des unités engagées au combat. Les satellites, au poids de 700 à 800 kg, seraient toujours placés sur orbite synchrone. La complexité du matériel serait reportée sur le satellite, les postes terrestres ne dépassant pas celle d'un « walkie-talkie ».

LE M.O.L.

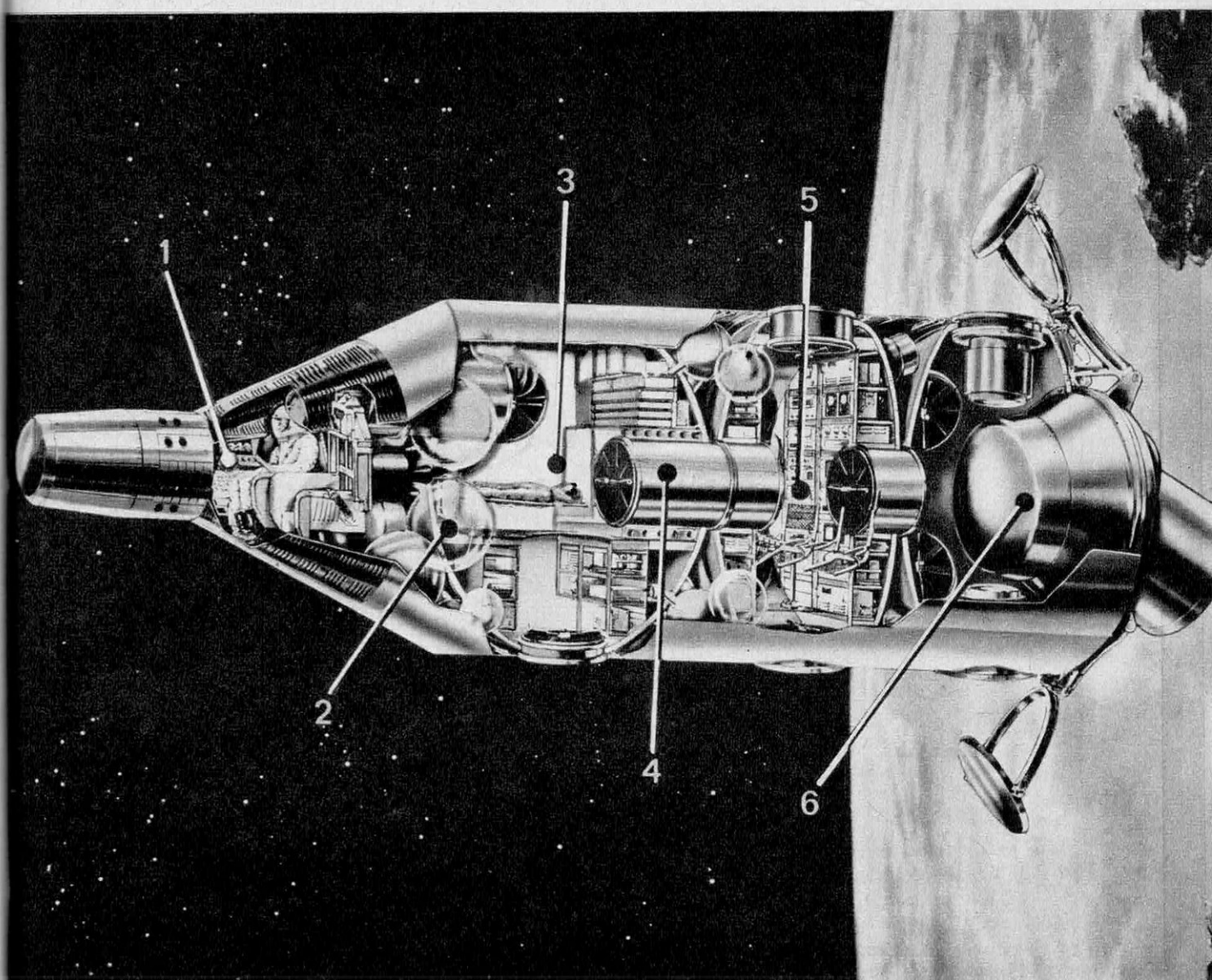
En 1957, les projets militaires spatiaux américains s'étaient concrétisés sous la forme du Dyna-Soar, un avion pouvant voler indifféremment dans l'air et dans l'espace. La responsabilité de l'ensemble revenait à Boeing, constructeur de l'avion. On devait placer l'appareil sur orbite avec le plus lourd des véhicules de lancement alors disponibles, le Martin Titan II employé par la suite au lancement des Gemini. Mais, à la différence de Mercury et de Gemini, le Dyna-Soar eût pu, grâce à sa voilure, choisir dans de larges limites l'aéroport destiné à son atterrissage. L'opposition du président Eisenhower, adressant en septembre 1960, dans un discours aux Nations Unies, un appel à M. Khrouchtchev qui visait spécialement les satellites militaires, modifia l'orientation des projets américains. M. Robert S. McNamara, secrétaire à la Défense, arrêta en septembre 1963 les dépenses engagées pour le Dyna-Soar.

L'U.S. Air Force se tourna alors vers un projet de M.O.L. (*Manned Orbital Laboratory*), un laboratoire orbital avec équipage aux missions non précisées. Les crédits furent accordés dès décembre 1963. Le M.O.L. sera mis sur orbite par la plus puissante des fusées de l'U.S. Air Force, le Martin Titan III-C qui dérive du Titan II par addition de deux « boosters » à poudre de 540 000 kg de poussée chacun. Vingt-quatre Titan III-C ont été mis en commande, capables de placer sur orbite basse un laboratoire de 11 340 kg. Les liaisons entre le M.O.L. et la Terre se feraient soit par des Gemini, soit par des véhicules aérospatiaux tels que le SV-5 étudié également par Martin ou le



Projet de satellite à configuration variable pour l'étude de la sta-

bilisation par gradient de gravité (Department of Defense).



Exemple d'aménagement possible pour le M.O.L. : 1 - capsule Gemini servant à assurer les liaisons avec la Terre; 2 - réservoirs de

carburant pour manœuvres en orbite; 3 - compartiment de repos; 4 - sas; 5 - laboratoire; 6 - ensemble pour prises de vues - photo.

M2-F2 de Northrop qui, lâché d'un B-52, réussissait en juillet dernier un atterrissage à 320 km/h sur le Rogers Dry Lake.

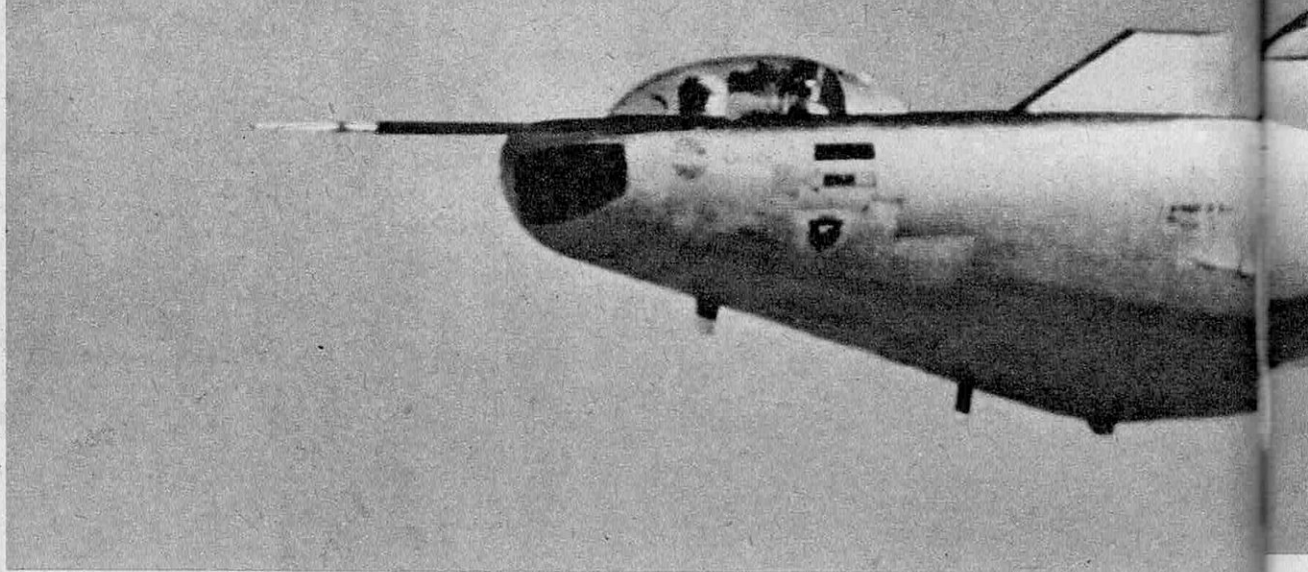
Avec des prévisions de dépenses de 400 à 500 millions de dollars pour les années fiscales 1968 et 1969, le M.O.L., commandé à Douglas, se classe au premier rang des programmes militaires spatiaux des Etats-Unis. Les lancements d'un M.O.L. sans équipage sont prévus pour 1967, les lancements avec équipage suivront en 1968. Les sous-traitants, Collins Radio pour les télécommu-

nications, Honeywell pour le dispositif de guidage, Pratt et Whitney pour les piles à combustible, livreront les mêmes fournitures que pour Apollo. La mission principale prévue pour le M.O.L. est la surveillance; on en attend des résultats particulièrement intéressants en guerre anti-sous-marine.

Mais le M.O.L. n'est qu'un des 70 programmes du projet S.P.A.D. (*Space Principles, Applications and Doctrine*) qui s'étendent, sur le papier, jusqu'aux « *Doomsday Machines* », aux « machines du Jugement dernier ». La plus récente est l'attelage d'une fusée sur l'un des 1 560 astéroïdes de quelques milliers à quelques millions de tonnes — Cérès et Vesta ont environ 650 km de diamètre — qui pourraient faire voler en éclats sous leur impact le territoire de l'adversaire et la Terre elle-même.

Camille ROUGERON

LE TRANSPORTEUR AEROSPATIAL



ON désigne sous le nom de « transporteur aérospatial » un véhicule de lancement avec équipage susceptible de placer une charge sur orbite, de revenir à terre sans destruction à travers l'atmosphère et d'être réutilisé à plusieurs reprises.

Les missions attendues du transporteur aérospatial sont multiples :

- mise sur orbite terrestre et récupération de nombreux satellites scientifiques et économiques ;

- transport des matériaux et de l'outillage destinés au montage d'une station orbitale ;

- rendez-vous spatial pour l'entretien et la réparation de satellites sur orbite ;

- ravitaillement des stations orbitales habitées en produits nécessaires à leur fonctionnement et relève de leur personnel ;

- sauvetage d'astronautes en détresse sur orbite ;

- opérations militaires et de police de l'espace.

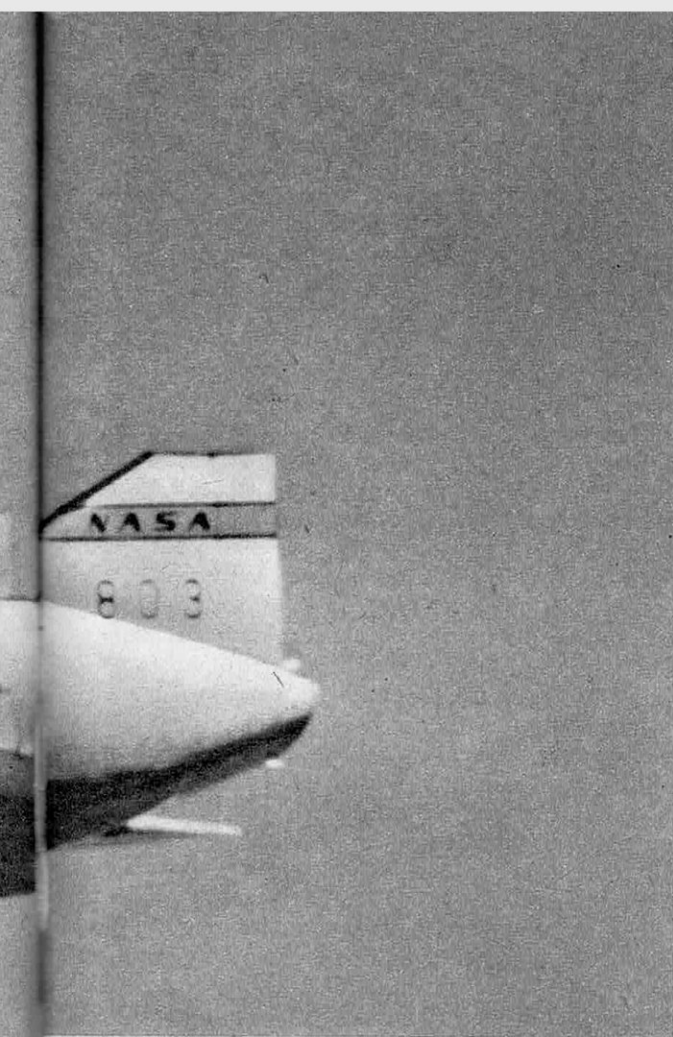
Plusieurs projets de transporteurs aérospatiaux ont été élaborés ces dernières années aux Etats-Unis. Eurospace, qui groupe depuis cinq ans les principales industries d'Europe occidentale intéressées aux ques-

tions spatiales, a choisi à plusieurs reprises le transporteur aérospatial comme sujet d'étude, auquel le Dr Eugen Sänger, en janvier 1964, et M. Maurice Roy, en février 1965, ont consacré deux conférences à Bruxelles et à Stuttgart.

Plusieurs gouvernements ont manifesté officiellement leur intérêt à de tels projets.

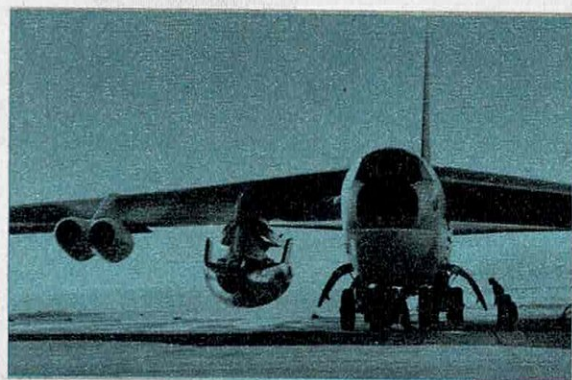
En septembre 1962, M. Julian Amery, ministre britannique de l'aviation, donnait à Farnborough quelques précisions sur le chasseur spatial qu'il envisageait pour la *Royal Air Force* : un avion hypersonique de Mach 6 qui lancerait vers 45 000 m d'altitude un avion monoplace, limité lui-même à une vitesse suborbitale de Mach 15 et lançant un troisième étage non piloté à des fins d'inspection ou de destruction des satellites adverses.

Le même mois, le général Bernard A. Schriever, responsable des études de systèmes d'armes en tant que chef de l'*Air Force System Command*, et M. Eugene M. Zuckert, secrétaire à l'*U.S. Air Force*, annonçaient une étude similaire aux Etats-Unis. L'avion militaire qui devait remplacer le Dyna-Soar lancé par le Titan III, l'A.S.P. (*AeroSpace Plane*), serait mis sur orbite non plus par une fusée



Le planeur expérimental manœuvrable M2-F2 de Northrop : largué à 13 000 m par un B-52,

il se pose comme un avion, annonçant les transporteurs aérospatiaux de demain.



mais par une plate-forme aérienne récupérable. Sans doute, déclarait M. Zuckert, l'expérience de la NASA, l'Administration civile de l'espace et de l'aéronautique; aidera-t-elle puissamment les futurs équipages d'avions spatiaux. Mais le matériel qu'ils auront à utiliser devra répondre aux exigences militaires habituelles en matière d'économie,

de rendement et de réemploi. L'U.S. Air Force étudiera donc un mode de lancement moins coûteux, que ce soit au moyen de fusées ou de plates-formes, récupérables les unes et les autres.

En mars 1965, les marchés portant sur la première phase d'une étude de 1,5 million de dollars étaient passés avec la General Electric, Garrett et Marquardt, le spécialiste du statoréacteur. Ils visaient un « *scramjet* » (*supersonic combustion ramjet*, statoréacteur à combustion supersonique) alimenté en hydrogène liquide, destiné à être monté sur le North American X-15, qui a battu à plusieurs reprises le record de vitesse porté par lui à plus de 6 800 km/h. Simultanément, on annonçait l'étude par l'U.S. Air Force d'un programme d'« *air-augmented rocket* », d'une fusée à injection d'air additionnel.

Cependant, pas plus que le choix entre un premier étage de fusée, redescendant sur un plan d'eau avec l'aide de parachutes, et une plate-forme aérienne atterrissant comme un avion, les performances et la mission de l'avion spatial ainsi lancé ne sont pas encore exactement fixées. Une première voie est celle de l'avion à vitesse suborbitale, c'est-à-dire inférieure à la vitesse de satellisation, qui exécuterait ses missions offensives ou défensives avec des armes qui, elles, pourraient être satellisées. C'est notamment la solution retenue par M. Amery pour la Royal Air Force. Ni le général Schriever, ni M. Zuckert n'ont donné les précisions de M. Amery ; de source officielle on attribuait à ce deuxième étage de l'*Aerospace Plane* un rayon d'action de 8 000 km, qui exigeait donc dans les Mach 20 en supposant un plané doublant la portée de la trajectoire balistique et qui eût permis des incursions jusqu'à près de 2 000 km d'altitude. Mais M. Zuckert faisait étudier concurremment l'avion spatial véritable, sous forme d'une station satellisée à usages militaires multiples et organisée pour le séjour de longue durée d'un équipage, le M.O.L. (*Manned Orbital Laboratory*). Telle est plutôt aujourd'hui la solution retenue, avec les facilités nouvelles données par un Titan III-C.

FUSÉES ET STATORÉACTEURS

La fusée à étages universellement adoptée pour la « livraison » des charges thermonucléaires et la mise sur orbite des satellites convient-elle au mieux à la propulsion du transporteur aérospatial ?

Pour le ou les derniers étages qui impriment les vitesses voisines réclamées par les portées intercontinentales et les satellites sur

orbite basse ou celles, voisines également et plus élevées encore, des satellites sur orbite haute et des sondes spatiales, la réponse est certainement affirmative. Une seule raison suffira pour la justifier : on ne connaît pas d'autre mode de propulsion fonctionnant à ces vitesses.

Pour les premiers étages, au contraire, et même pour la totalité de ceux auxquels on ne demande que les 2 000 à 3 000 km des missiles à portée moyenne ou intermédiaire, le choix de la fusée est plus discutable.

A la fusée pure on peut d'abord substituer la fusée « à air additionnel » dont l'illustration est donnée par le projet Martin et qui présente par rapport à la fusée classique deux avantages reconnus théoriquement depuis longtemps.

Le rendement de cette dernière est mauvais aux faibles vitesses, par exemple entre Mach 1 et Mach 5 pour une fusée à oxygène-kérosène éjectant ses gaz vers 3 000 m/s, soit à une vitesse comprise entre deux fois et dix fois celle du véhicule qu'elle propulse. Le jet de gaz emporte avec lui une part notable de son énergie cinétique, inutilisée pour la propulsion. Si on réussit à le mélanger à l'air ambiant, la vitesse moyenne d'éjection est abaissée et le « rendement propulsif » relevé d'autant. C'est exactement le même principe que met en œuvre le turboréacteur dit « à dilution », exclusivement employé sur les plus récents modèles de Boeing 707, Douglas DC-8 et Caravelle.

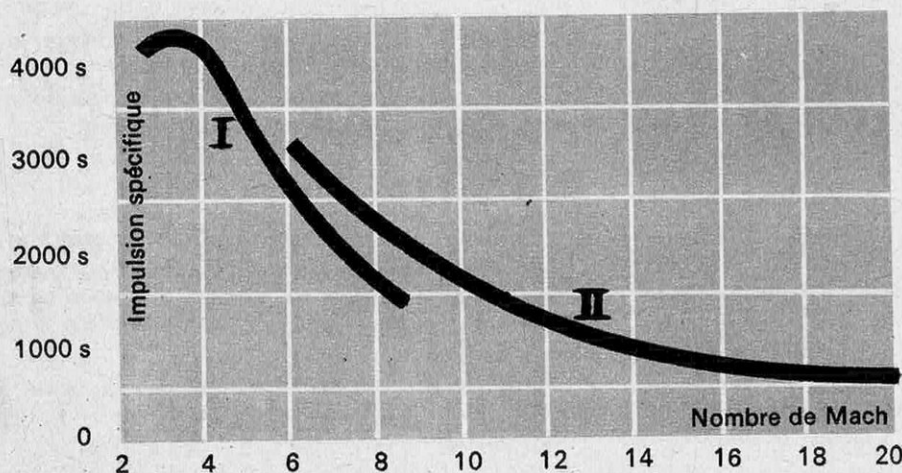
En outre, on peut même fonctionner avec un excès de combustible qui trouvera son comburant dans l'air ambiant sans qu'il soit nécessaire de l'emporter sous forme liquide dans un réservoir.

Bien entendu, lorsque la vitesse du véhicule atteindra la vitesse d'éjection, le rendement propulsif devenant égal à l'unité puisque la vitesse absolue des gaz éjectés est

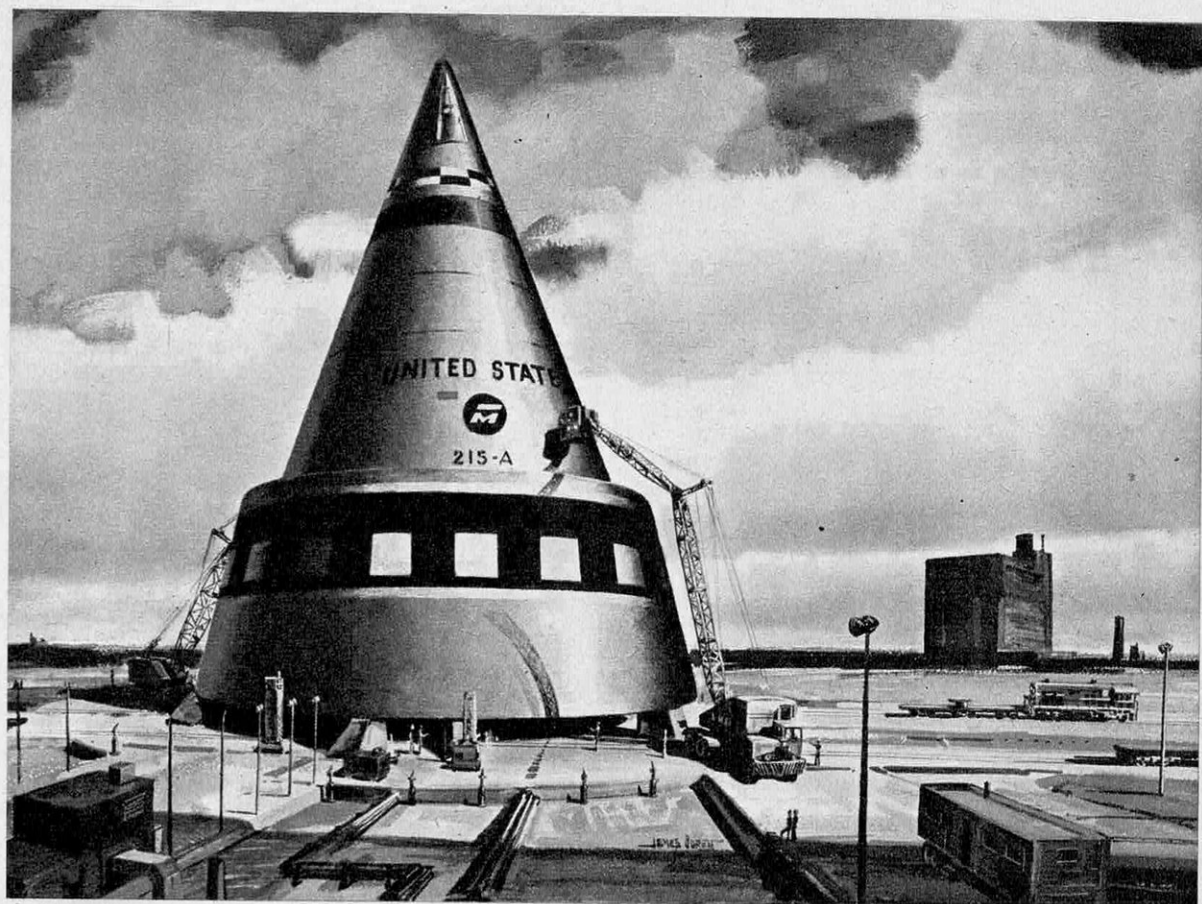
nulle, il conviendra de cesser l'envoi d'air additionnel en fermant les orifices d'admission. Il en sera de même aux vitesses supérieures, le rendement propulsif ne cessant alors de décroître.

Le statoréacteur présente un rendement supérieur encore à la fusée à air additionnel dans le domaine supersonique, soit jusqu'à Mach 5. Il convient même au début de l'hypersonique, entre Mach 5 et Mach 7. L'air pénètre dans une tuyère qui le ralentit jusqu'à une vitesse subsonique. Il est alors réchauffé par injection de combustible, puis éjecté dans une tuyère de sortie où sa détente lui imprime une vitesse supérieure à celle qu'il avait à l'entrée. Le principe est le même que celui du turboréacteur, mais sans aucune partie tournante, ce qui lui vaut son nom de « statoréacteur ». Le seul inconvénient de ce mode de propulsion est de ne donner aucune poussée au repos, donc d'exiger une mise en vitesse préalable.

La question se complique dans le domaine du haut hypersonique, Mach 8 à Mach 15, et même aux vitesses supérieures encore où l'on prétend pouvoir l'employer aujourd'hui. Le ralentissement de l'air à une vitesse subsonique, puis son réchauffement par injection de combustible porteraient la chambre et les tuyères à une température que n'acceptent pas les meilleurs alliages actuels. Sans doute peut-on essayer de refroidir les parties les plus chaudes avec le combustible, kérosène ou hydrogène liquide, à la manière des tuyères de fusées refroidies à l'oxygène liquide. Le calcul montre que, même avec l'hydrogène liquide prévu pour les statoréacteurs de la NASA, ce refroidissement ne suffirait pas. Simultanément, la combustion à 2 000° C et plus livre des gaz partiellement dissociés qui n'ont pas le temps de revenir à leur état non dissocié lors de leur passage dans la tuyère de détente, et cette dissocia-



Le graphique ci-contre donne l'impulsion spécifique d'un statoréacteur ordinaire et d'un statoréacteur à combustion supersonique (scramjet) en fonction du nombre de Mach. L'intérêt de ce dernier est bien net dans la région des très hautes vitesses hypersoniques.



tion absorbe une part importante de l'énergie chimique disponible dans le combustible.

On a donc mis à l'étude depuis 1957, aux Etats-Unis, ce qu'on appelle un « *scramjet* » (*supersonic combustion ramjet*), le « *ramjet* » étant le statoréacteur. La combustion se fait dans de l'air dont la vitesse hypersonique, supérieure à Mach 5, est ramenée dans la tuyère d'entrée à une valeur simplement supersonique, c'est-à-dire comprise entre Mach 1 et Mach 5. Pratiquement, la réduction de vitesse est de l'ordre des deux tiers.

On s'étonnera sans doute qu'un combustible puisse brûler sur quelques dizaines de centimètres dans un courant d'air à plus de 1 000 m/s quand une flamme ordinaire est soufflée à beaucoup moins. Mais les protagonistes de la combustion supersonique n'ignoraient pas que l'hydrogène brûle spontanément dans un air à 600° C, et la théorie du taux cinétique des réactions chimiques leur permet même d'affirmer qu'à 1 500° C d'une chambre de combustion supersonique, celle-ci se fera en quelques microsecondes. C'est uniquement une question de mélange convenable du combustible gazeux et du comburant. Les résultats expérimentaux américains sur le *scramjet* n'ont pas été publiés. Mais l'ONERA français

Un projet de la firme Martin aux U.S.A. : engin à moteurs-fusées à air additionnel. Le flux d'air destiné à

élever le rendement propulsif pénétrerait dans l'espace entre le corps central et la jupe inférieure de l'engin.

(Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques), qui étudie depuis trois ans la combustion supersonique et n'est pas tenu à la même réserve, a obtenu des réactions stables à 3 000 m/s en un dix-millième de seconde.

Le problème de la combustion stable une fois résolu, et ce n'est qu'une question de mélange correct, le statoréacteur à combustion supersonique ne présente que des avantages au delà de Mach 7 sur le statoréacteur classique. Le taux de compression dans la tuyère d'entrée est assez faible pour s'accommoder des alliages existants. La température modérée des gaz, vers 1 500° C, ne dissocie pas sensiblement les résidus de la combustion. Par rapport à la fusée, même à air additionnel, le gain est énorme.

L'économie de consommation s'exprime communément, pour cette comparaison, sur la base de « l'impulsion spécifique ». Elle mesure, en secondes, le temps pendant le-

quel la combustion de 1 kg de propergol exerce une poussée de 1 kg. Le propulseur est donc d'autant plus économique que l'impulsion spécifique est plus grande. Elle ne dépasse pas 360 s pour les fusées à oxygène-kérosène, 400 s pour les fusées à oxygène-hydrogène. La fusée à air additionnel relèverait ces valeurs de moitié. A condition évidemment de ne tenir compte que du combustible brûlant dans un air gratuit, l'impulsion spécifique atteint un maximum de 4 000 s, vers Mach 4, pour le statoréacteur à combustion subsonique et décroît ensuite pour tomber vers 2 500 s à Mach 7. La relève par le statoréacteur à combustion supersonique s'impose ensuite ; l'impulsion spécifique continue à décroître jusqu'à 1 700 s vers Mach 10, 1 200 s vers Mach 12, 1 000 s vers Mach 14. Avec 600 s vers Mach 20, si on réussit à l'atteindre, elle est encore nettement supérieure aux 400 s de la fusée, l'air additionnel étant exclu à cette vitesse.

Si l'on ne craint pas la complication, la mise sur orbite d'un transporteur aérospatial avec le rendement maximum combinerait un étage récupérable à turboréacteur jusque vers Mach 4 ; un autre étage récupérable avec statoréacteur à « géométrie variable », à combustion subsonique jusqu'à Mach 7 et supersonique au delà ; enfin un dernier étage à fusée qui sera le transporteur aérospatial proprement dit.

PROJETS AMÉRICAINS ET EUROPÉENS

Si secrets que soient les projets américains, on savait du moins que, jusqu'à 1962, les protagonistes du « scramjet » n'avaient pas convaincu les responsables. Les études du M.O.L. (*Manned Orbital Laboratory*), le laboratoire orbital avec équipage étudié concurremment par la NASA et l'U.S. Air Force, ne prévoient encore qu'un lancement et des liaisons pour relève au moyen des diverses fusées, Saturn et Titan III-C, mises au point par ces deux organismes. Cependant, le général Bernard A. Schriever a présenté une conclusion différente.

Parlant en mai 1966 au quatrième symposium sur les recherches avancées de propulsion, tenu à Palo Alto, le général Schriever a fait la comparaison entre la fusée à air additionnel et le statoréacteur à combustion supersonique. Il concluait nettement en faveur de ce dernier pour la décennie 1970-80, surtout pour le transporteur aérospatial récupérable. « Le « scramjet », a-t-il dit, est la solution qui promet le plus pour le vol hypersonique... dans tout le domaine à partir de Mach 4... On pourrait se fixer dès

maintenant Mach 11 comme objectif de départ, avec développement ultérieur jusqu'à Mach 27. »

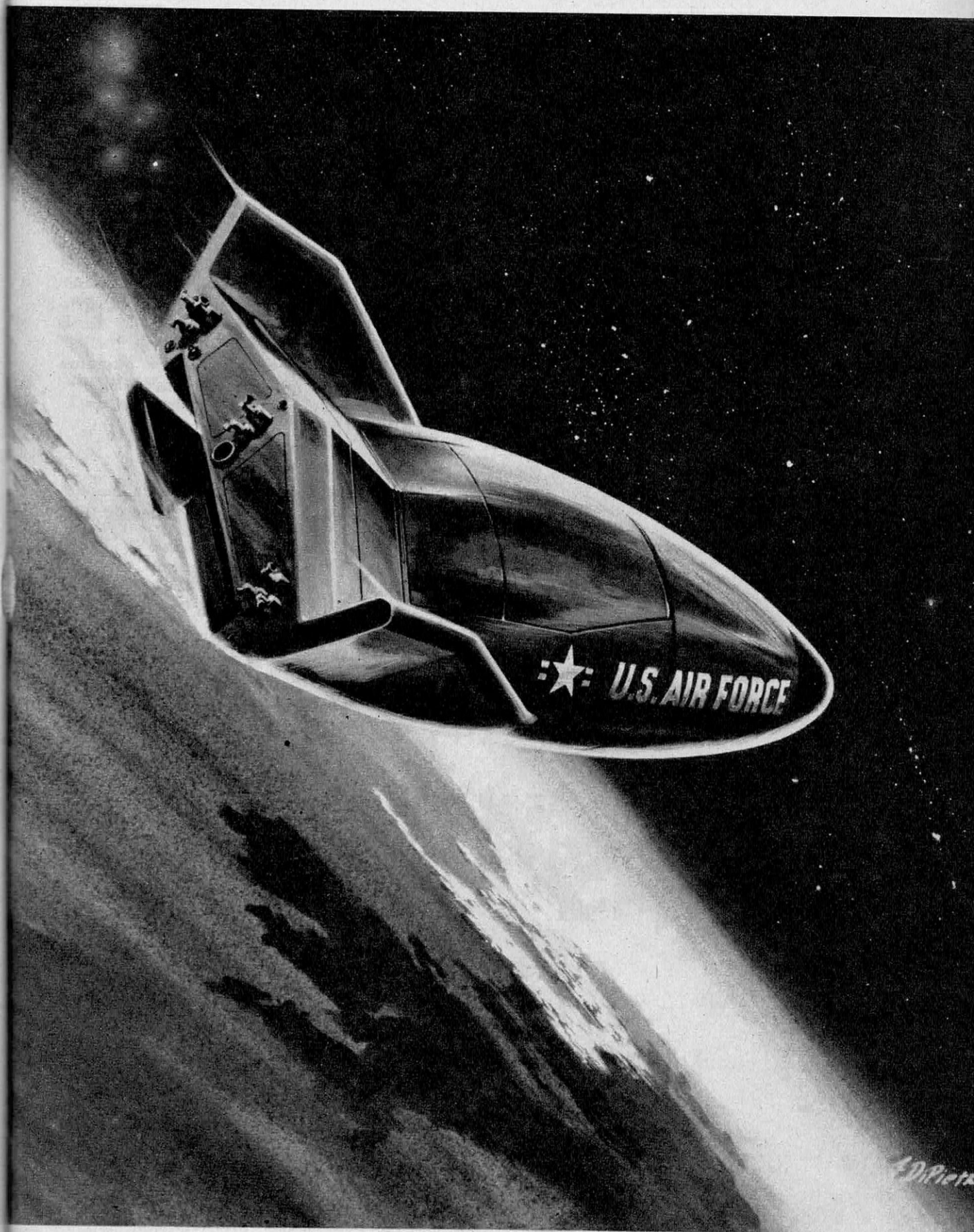
M. Perry W. Pratt, vice-président et directeur scientifique de Pratt et Whitney, le constructeur des turboréacteurs des derniers Boeing 707 et Douglas DC-8, partage l'avis du général Schriever. Passant en revue, dans un article de mars 1965 de *Astronautics & Aeronautics*, l'évolution passée et future des propulseurs, il concluait également à l'avenir des *scramjets* entre Mach 7 et Mach 26, avec une impulsion spécifique tombant alors à 650 s, mais restant nettement supérieure aux 400 s de la fusée.

Les premiers projets européens ont été publiés avec tous les détails désirables dès 1962 par le Dr R. R. Jamison, ingénieur en chef adjoint du service statoréacteurs de Bristol-Siddeley. Moins audacieux que ne le sont devenus par la suite ses concurrents américains, il limitait d'abord à Mach 10, puis en 1963 à Mach 14, demi-vitesse orbitale, la propulsion par statoréacteur. L'intérêt des études théoriques et expérimentales de Bristol-Siddeley réside dans la série d'avant-projets auxquels elles aboutissaient. Pour s'en tenir à l'emploi de l'hydrogène et à un statoréacteur de Mach 10 suivi de deux étages de fusées, ils offraient une charge satellisable sur orbite basse de 13,5 % du poids total si l'on n'exigeait pas la récupération du véhicule propulsé par statoréacteur, de 12 % dans le cas contraire. Ces chiffres étaient mis en regard des 2,6 % que le Dr Jamison attendait d'une fusée à quatre étages, le premier à kérosène-oxygène, les trois suivants à hydrogène-oxygène, d'une formule assez proche des réalisations américaines actuelles, et des 5,2 % d'une fusée à quatre étages hydrogène-oxygène qui poserait certainement des problèmes constructifs difficiles.

Les projets d'Eurospace, postérieurs à ceux de Bristol-Siddeley, ont fait l'objet d'études approfondies par des constructeurs dont le nom, en raison du caractère de l'association, n'a pas été dévoilé. M. Maurice Roy, ancien directeur de l'ONERA, les a exposées avec quelques détails dans sa conférence de Stuttgart. Conçues à l'origine en vue de l'engin balistique, a-t-il dit en substance, les fusées actuelles ont fourni une solution quasi-immédiate des lancements spatiaux. Mais on ne saurait tirer argument de cet état

Actuellement à l'étude chez Martin, l'engin orbital SV-5 pourra effectuer des rentrées pilotées dans l'atmo-

sphère terrestre grâce à des tuyères de positionnement et un jeu de gouvernes aérodynamiques spéciales.



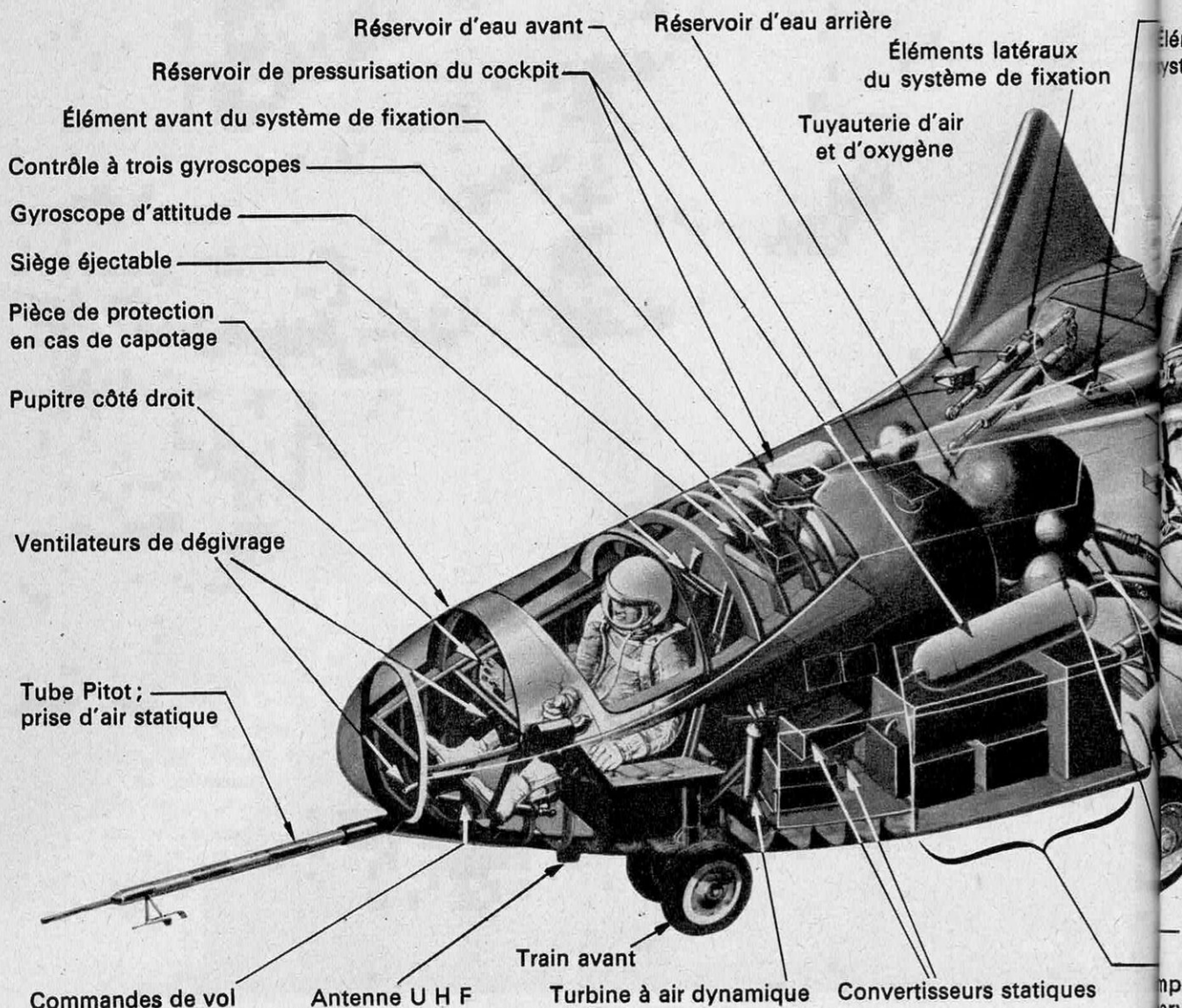
de fait contre la nécessité d'un système de transport aérospatial dérivé de l'avion. M. Roy insiste sur la nécessité d'un matériel récupérable, sur celle d'une accélération limitée à 2,5 fois celle de la pesanteur pour le transport de passagers qui n'auront pas subi le tri préalable et les années d'entraînement des pionniers de l'astronautique, sur l'intérêt du décollage et du retour sur piste horizontale, sur l'économie enfin d'une combinaison judicieuse de propulseurs « aéro-bies » (utilisant l'air atmosphérique) et de fusées.

THÈME ET VARIATIONS CIVILES ET MILITAIRES

« Si lointaines, si invraisemblables qu'apparaissent les applications des nouvelles découvertes et des nouvelles approches des

problèmes, les militaires trouvent toujours, à la longue, le moyen d'en tirer parti. » Ainsi concluait en 1962 la Commission de la Science et de l'Astronautique à la Chambre des Représentants de Washington, en donnant un avis favorable au large relèvement de crédits demandé pour la NASA.

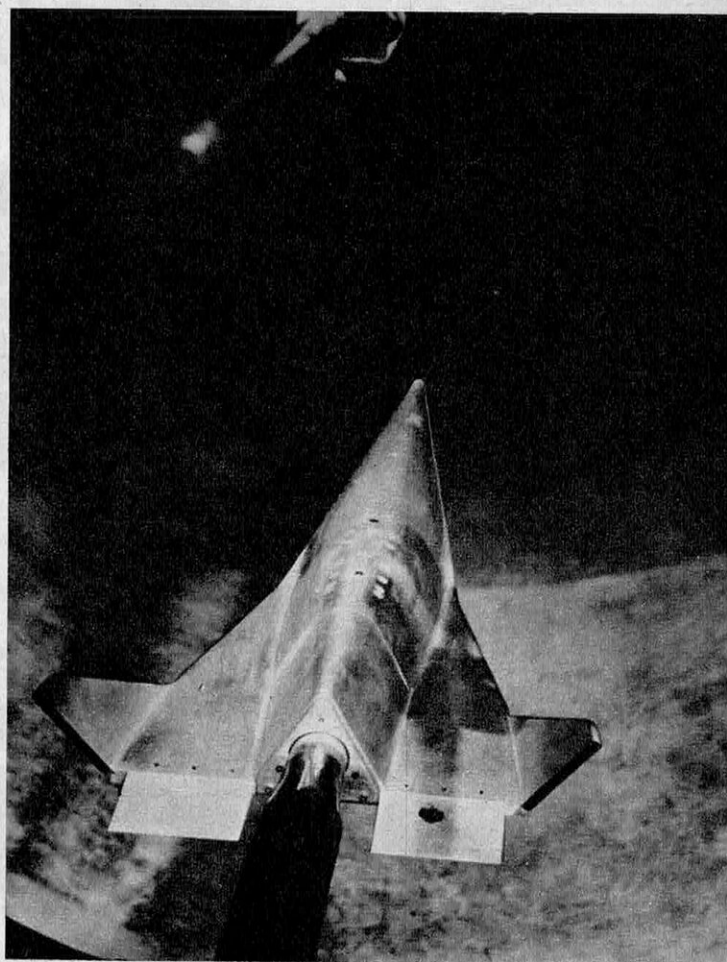
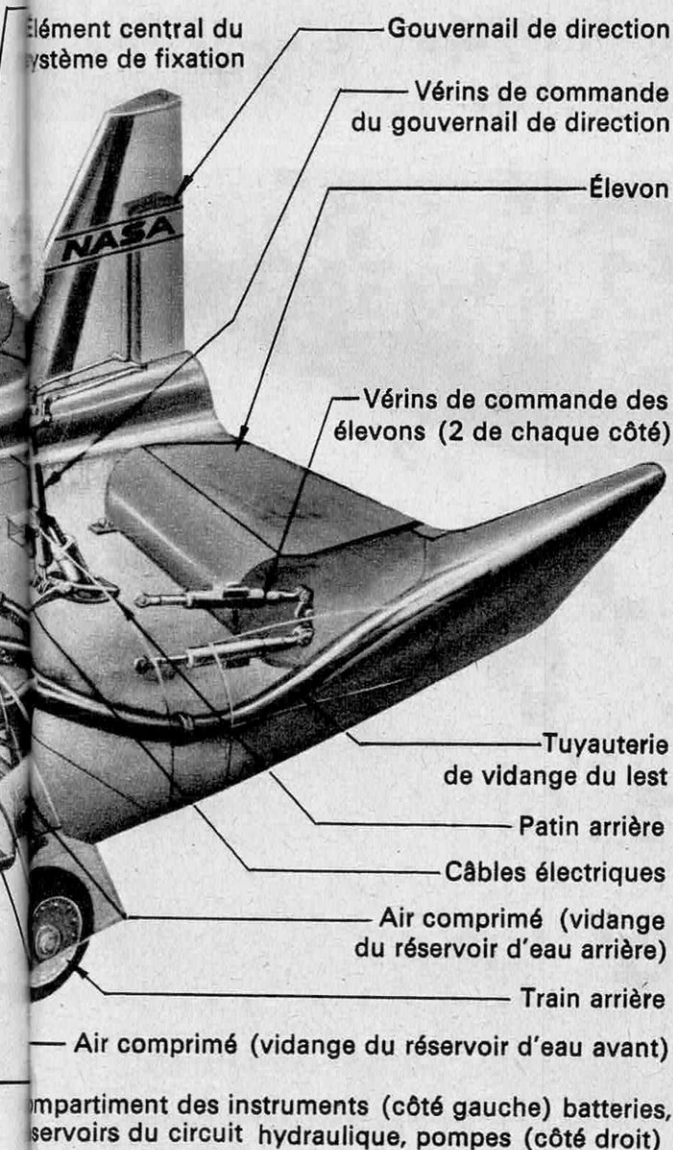
Au symposium de Palo Alto, le général Schriever a déclaré de même : « Une fois maîtrisée la technique du « scramjet », nous mettrons New-Delhi à une heure de vol de New York. Mais les applications militaires iront de front avec les applications commerciales. » Eurospace est tout aussi discret. M. Roy énumère longuement les missions civiles du transporteur aérospatial, de la construction de satellites à la relève du personnel, « sans parler d'applications militaires à la détection, protection et défense dont il est fait volontairement abstraction ici. »



Nous croyons au contraire que les plus importantes des applications militaires seront offensives, qu'elles déclasseront entièrement l'engin balistique tiré du sol ou du sous-marin, et que c'est précisément le motif de la réserve de tant de pays et des Etats-Unis en particulier à en discuter au moment où ils sont lancés dans l'exécution de programmes d'engins balistiques à échéance de 1970 ou plus tard.

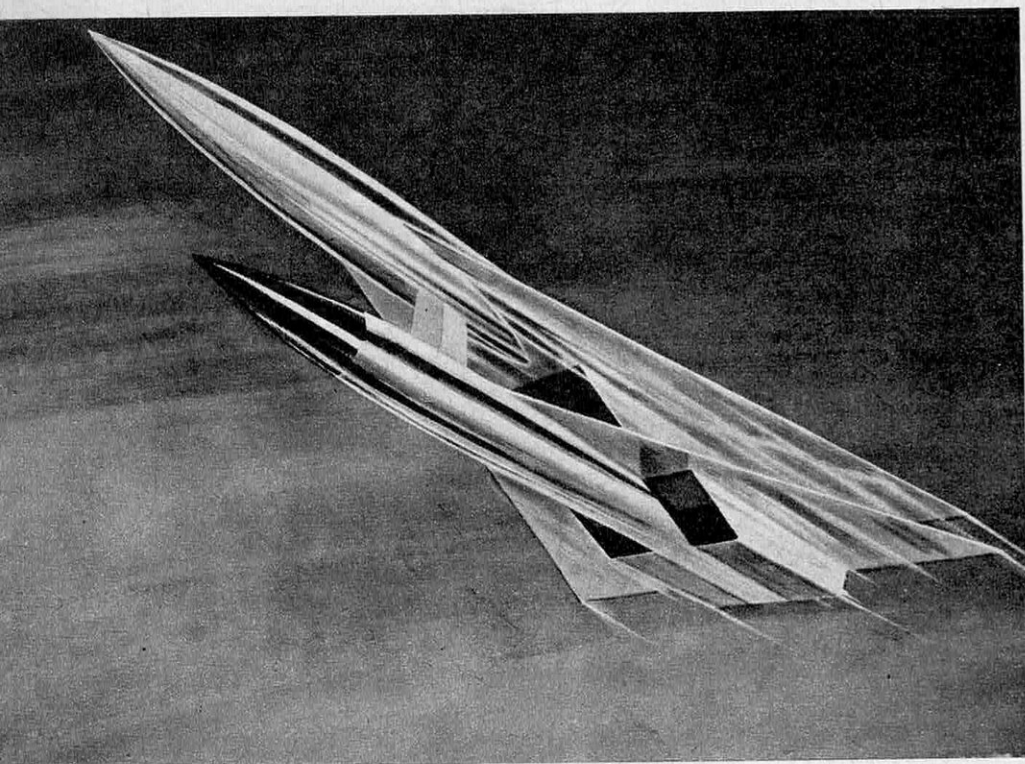
Les deux premiers programmes de bombardement intercontinental datent de la Seconde Guerre mondiale. Ils appartenaient l'un et l'autre à la catégorie des matériels dits « semi-balistiques » combinant la trajectoire proprement balistique et la sustentation sur l'atmosphère. Le premier, en cours de réalisation par l'Allemagne à l'armistice, visait à atteindre New York à partir de l'Europe par un engin-fusée à deux étages, le

premier balistique, le second formé d'une V-2 munie d'une voilure pour prolonger la trajectoire balistique par un plané. Le deuxième, plus ambitieux, est resté à l'état de projet : le Dr Sänger prétendait propulser par fusée ce qu'il appelait un « bombardier antipodal » avec une trajectoire sinusoïdale où des ricochets sur la basse atmosphère s'intercalaient entre des portions proprement balistiques. Il ne visait rien moins que la rentrée de l'appareil à sa base de départ, après un tour complet de la Terre, d'où le nom d'antipodal. Ce n'est pas que le Dr Sänger ignorât le statoréacteur. Il le construisait au même moment pour en doter, en bout d'ailes, les premiers avions à réaction allemands. L'armistice interrompit l'exécution. Mais le statoréacteur se limitait alors vers Mach 1 et non pas aux Mach 27 entrevus aujourd'hui par le général Schriever.



◀ Ci-contre, organisation d'ensemble du Northrop HL-10, planeur expérimental de la famille du M2-F2 ;

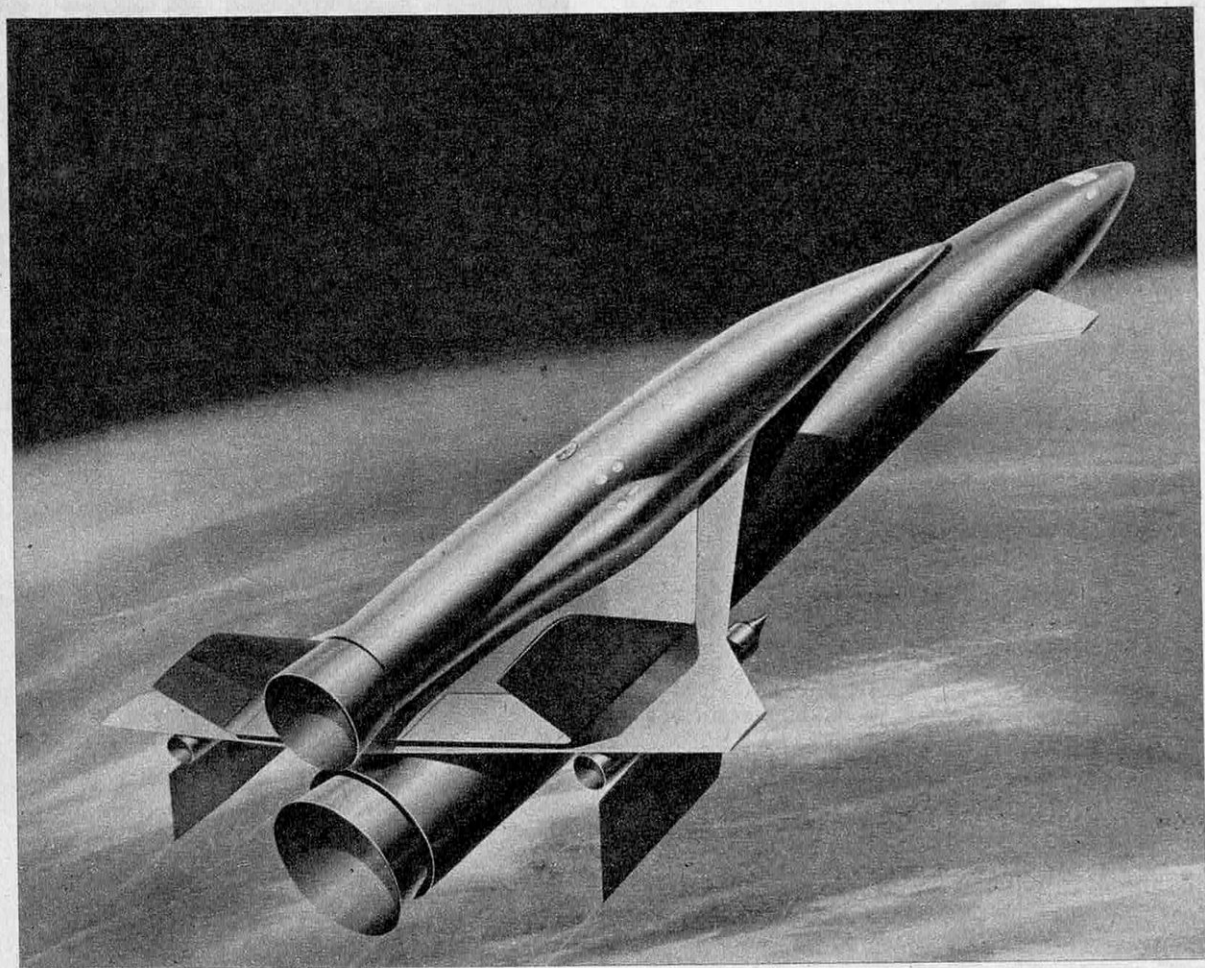
▲ Ci-dessus, essais à Mach 20 en soufflerie de la maquette d'un transporteur aérospatial étudié par Lockheed.

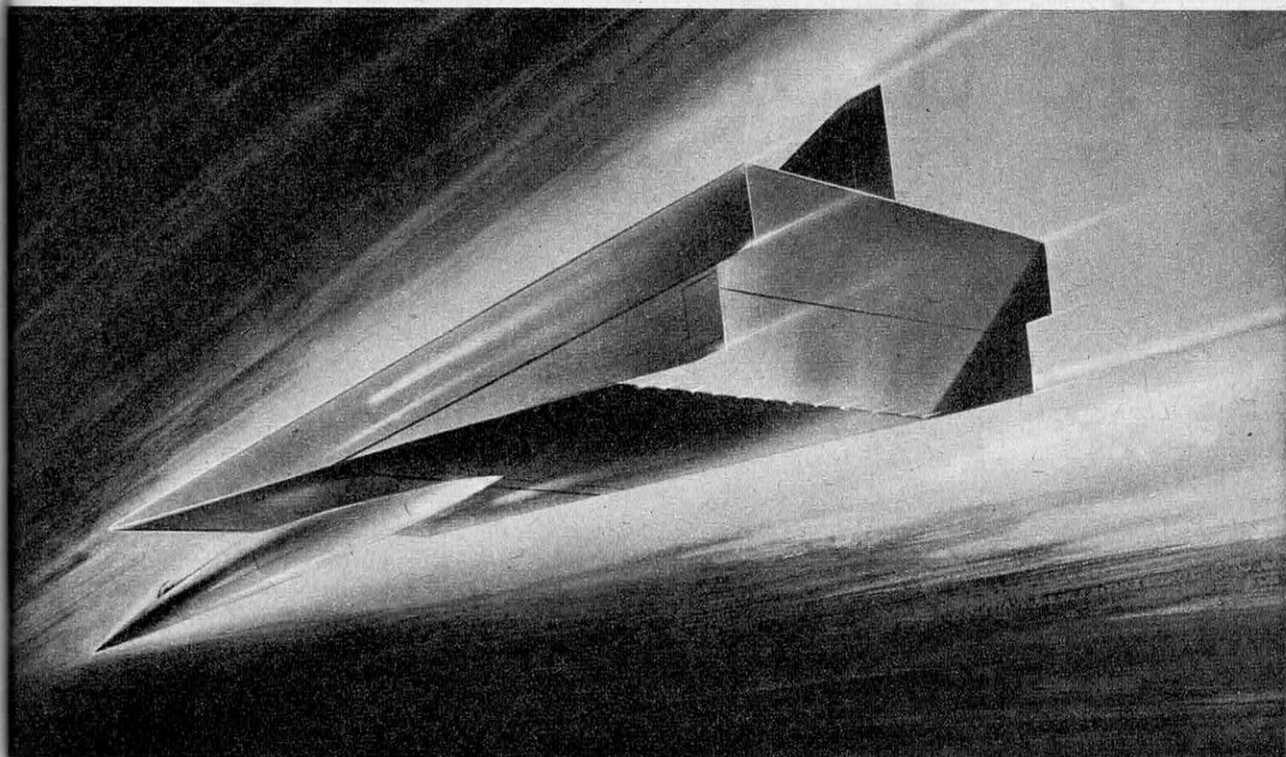


► **Projet Bristol-Siddeley** d'un avion de Mach 7 comportant une plateforme inférieure récupérable; celle-ci libérerait vers Mach 3 un engin équipé de plusieurs statoréacteurs.

► **Le principe du statoréacteur** supersonique à combustion externe, étudié dans un projet Rolls-Royce (ci-contre) pourrait être appliqué aux transporteurs aérospatiaux.

► **Avec dix passagers** à bord, un engin-fusées à deux étages semblable à celui-ci pourrait, selon Lockheed, assurer la liaison avec des stations orbitales.





La NASA a repris, aux Etats-Unis, l'étude théorique et expérimentale de ces deux projets allemands. Elle en a publié les conclusions vers 1957. Elle admet que le plané puisse doubler, pour une même vitesse initiale, la portée de l'engin semi-balistique (« *hypersonic glider* » — planeur hypersonique — selon la désignation américaine). Les ricochets la tripleraient, mais avec des réserves quant à la résistance mécanique d'une cellule soumise à de telles températures et de telles accélérations. L'objection ne porte plus aujourd'hui croyons-nous, vers Mach 7 à Mach 10 surtout, en raison des progrès faits dans l'aérodynamique et la protection thermique des véhicules rentrant de l'espace sur la Terre, en particulier pour le dernier étage du transporteur aérospatial.

Jusqu'à Mach 3,5, l'avion à turboréacteurs est imbattable en consommation. On le choisira donc comme premier étage, récupérable, du nouvel engin. Jusqu'à Mach 8, où MM. Pratt et Jamison sont d'accord pour estimer que le passage à la combustion supersonique s'impose, un deuxième étage à statoréacteur et à combustion subsonique réunit les avantages de la consommation et de la simplicité. On se dispensera des deux derniers étages de fusées à hydrogène, pour consacrer à un cône de charge le poids qu'ils représentent, soit 55 % du poids total à l'évaluation du Dr Jamison en 1962. On pourra même l'améliorer car, aux prix respec-

tifs du statoréacteur d'un deuxième étage et du cône de charge qu'il emporte, la récupération acceptée pour le premier étage à turboréacteur ne s'impose pas pour le deuxième.

Cette première étape, accessible dès aujourd'hui, serait suivie d'autres qui pourraient encore rester très en deçà des prévisions extrêmes du général Schriever et de M. Pratt. Pourquoi reculer devant la « géométrie variable » à l'intérieur des tuyères quand on voit les complications acceptées dans la même voie sur un avion civil comme Concorde ? La combustion supersonique succédant ainsi à la combustion subsonique, on accédera aux Mach 13 et 14 envisagés par le Dr Jamison comme limite de ce mode de propulsion, que l'on complètera par un seul étage de fusée. Sur l'exemple d'un avion de 32 000 kg au départ, tel le Lockheed A-11 qui a atteint près de Mach 3,5, dont 17 500 kg de deuxième et troisième étages, on lancerait un cône de charge de 4 700 kg (27 %) à Mach 20, avec une portée de près de 4 000 km sur une trajectoire balistique et 7 000 km au moins sur trajectoire semi-balistique en plané. De telles combinaisons d'étages à turboréacteurs, à statoréacteurs et à fusées valent aussi bien pour toutes les missions, civiles ou militaires, que l'on peut demander au transporteur aérospatial.

Camille ROUGERON

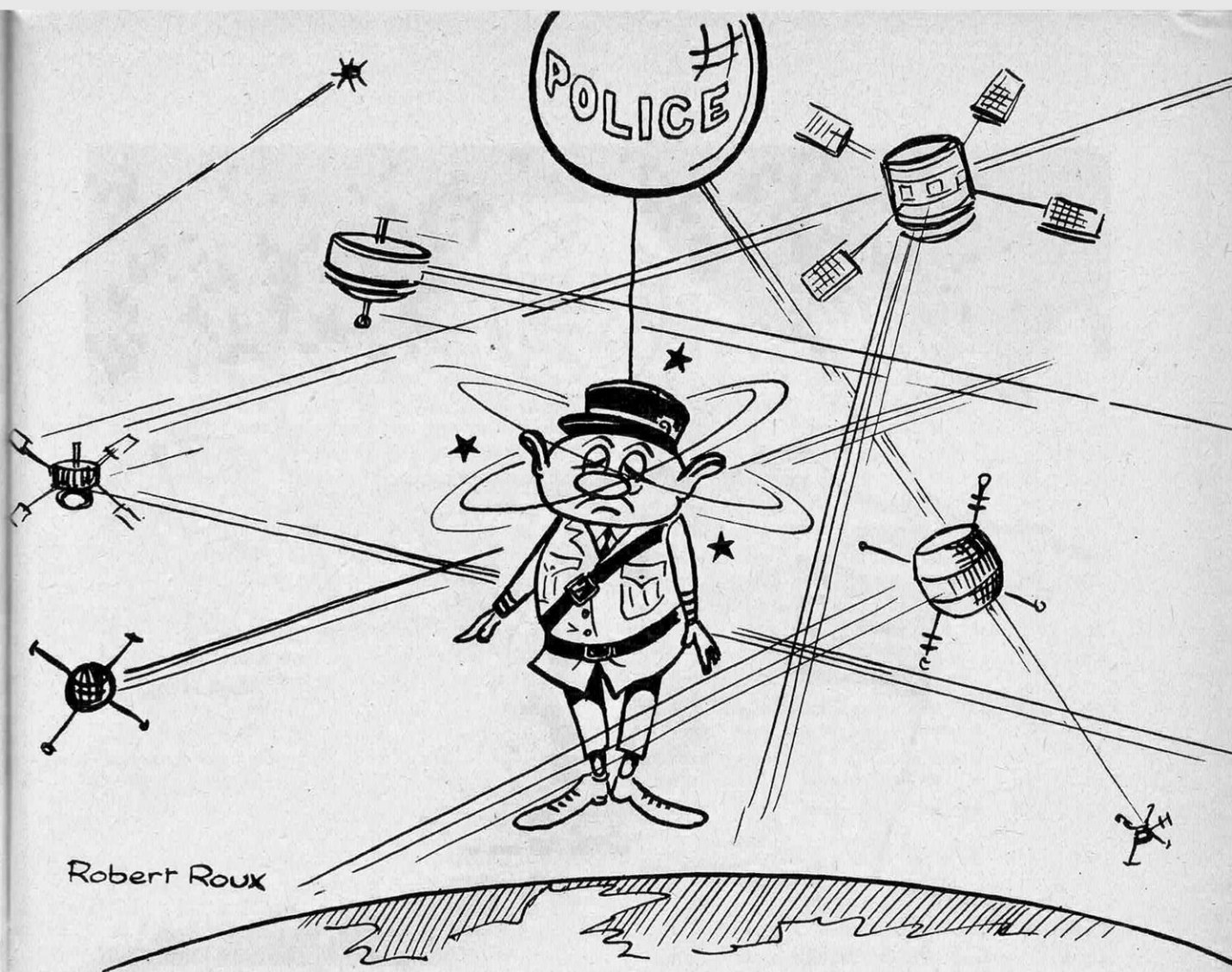
le droit spatial

Dans les années qui précéderent le lancement des premiers satellites artificiels, on s'était déjà inquiété des problèmes de relations internationales que l'exploration de l'Espace allait fatalement poser. Si le premier souci était d'éviter que se créassent de nouveaux champs de bataille aux dimensions accrues jusqu'à l'infini, la rivalité des grandes puissances, et en premier lieu des U.S.A. et de l'U.R.S.S., semblait devoir amener dans la conquête de l'Espace une foule de conflits plus ou moins aigus. Ne verrait-on pas, en particulier, les deux grandes puissances revendiquer la propriété des corps célestes qu'elles auraient atteints les premières ? Ainsi dans les années cinquante, juristes et hommes de science s'efforçaient de poser les premiers principes d'un véritable Droit spatial.

Avec la mise sur orbite de Spoutnik I, le 4 octobre 1957, ces préoccupations allaient prendre un caractère de pleine actualité. En effet, le minuscule engin soviétique, dans sa ronde autour de la Terre, passait cent fois par jour, et sans que la moindre autorisation ait été sollicitée par le gouvernement de Moscou, au-dessus des territoires nationaux d'un très grand nombre d'États. Or, la Convention de Chicago, signée en 1944, garantit l'entière souveraineté des nations sur l'espace aérien qui les surmonte, sous réserve d'accords multilatéraux à la base des liaisons internationales par voie aérienne. Aussi d'éminents juristes occidentaux s'empressèrent-ils de déclarer que la mise sur orbite de Spoutnik I constituait une violation du Droit International. Pourtant, la Convention de Chicago ne parle que d'« espace aérien » et d'« aéronefs » et le satellite, croisant sans le secours de la sustentation aérodynamique que les couches atmosphériques denses assurent aux avions, posait bien un problème nouveau, pour lequel rien n'avait été prévu.

On vit rapidement, tandis que de nouveaux engins, russes puis américains, orbitaient autour de la Terre, les organismes de Droit aérien international qui les premiers avaient débattu du cas Spoutnik, s'en dessaisir au profit de groupements spécialisés où collaboraient étroitement savants et juristes purs. L'un des premiers créés fut le Comité de Droit spatial de la Fédération Internationale de l'Astronautique. L'Organisation des Nations Unies fut aussi très vite sur la brèche. Son Assemblée Générale constituait en 1959 un « Comité pour l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique » qui a depuis conservé un rôle de premier plan dans l'élaboration des textes à caractère juridique concernant l'Espace. Ce comité s'articule en deux sections, l'une proprement juridique, l'autre plus spécialement technique.

Depuis, un très grand nombre d'organismes nationaux ou internationaux sont venus apporter leur contribution à l'établissement du futur code de l'Espace. Outre ceux déjà cités, il faut faire mention particulière de l'*International Law Association* et de son comité spécialisé, du COSPAR (*Committee on Space Research*, né de l'Année Géophysique Internationale), enfin de l'Union Internationale des Télécommunications. Un tel concours est nécessaire car l'œuvre entreprise est immense, complexe, par suite de multiples incidences politiques, et extrêmement diverse. Surtout, comme l'Astronautique elle-même dont il veut guider les progrès, le Droit spatial est essentiellement tourné vers l'avenir : ce sont, par exemple, les progrès de la technique des fusées qui, en nous permettant demain de déposer les premiers cosmonautes sur le sol de la Lune, impliqueront pour notre satellite l'établissement d'un statut juridique international qui reste encore à définir mais auquel on songe déjà de toutes parts.



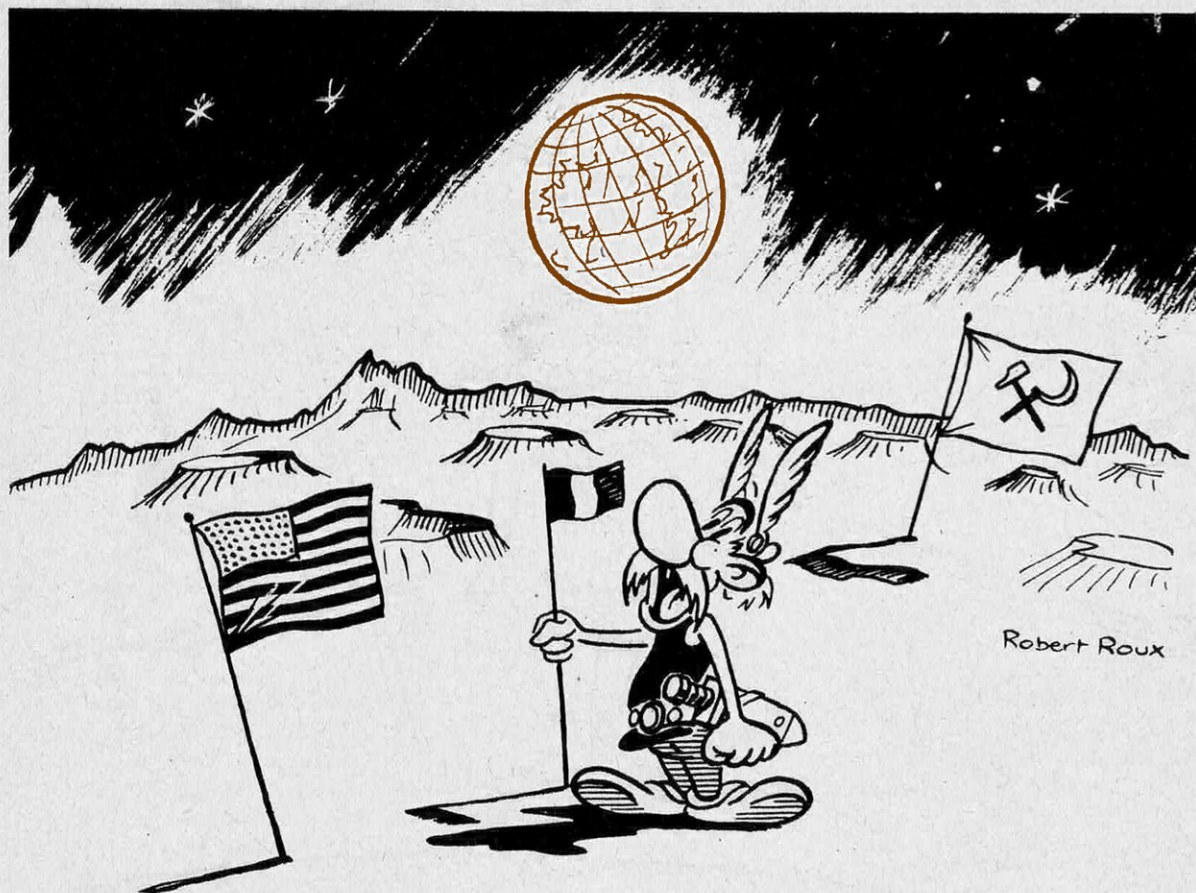
Robert Roux

L'œuvre entreprise est complexe, disions-nous. Cela explique que l'œuvre des législateurs de l'Espace soit encore mince. Ainsi, le problème de la délimitation des frontières de l'atmosphère, posé par le lancement de Spoutnik I, n'a pu recevoir encore de solution précise. Les gouvernements semblent s'accorder sur le point qu'il est impossible de prolonger dans l'Espace les « frontières nationales » définies par la Convention de Chicago pour l'espace aérien. Une telle souveraineté serait vidée de toute signification du fait de la rotation de la Terre et du mouvement des corps célestes. Bien plus, il serait, compte tenu des vitesses considérables des engins spatiaux, fort difficile d'établir que le satellite X se trouvait à telle heure précise, pour choisir un cas extrême, au-dessus du territoire de la Belgique plutôt qu'au-dessus du Luxembourg. Le principe de la liberté de l'Espace qui se trouve ainsi implicitement dégagé doit cependant s'assortir de garanties touchant à la sécurité des États et leur laissant toute liberté de procéder à leurs propres expériences spatiales. C'est pourquoi on a

proposé de laisser à chaque pays une certaine zone de souveraineté, suivant un principe analogue au Droit de la Mer, qui reconnaît à chaque État la possession d'eaux « territoriales », par opposition à la haute-mer, ouverte à tous les navires.

Les choses se compliquent quand on veut préciser l'altitude de cette frontière de l'Espace. On a proposé de la faire coïncider avec la frontière de l'atmosphère proprement dite, mais l'état actuel des connaissances scientifiques ne permet pas de fixer cette dernière avec une précision acceptable. Un autre type de définition, basé sur la limite du champ de gravité terrestre, aboutirait à fixer le « plafond » désiré à une altitude beaucoup trop grande, hors de la zone d'évolution de la plupart des engins spatiaux.

Il existe certes une zone physiquement interdite à la fois aux astronefs, où ceux-ci ne peuvent avoir qu'une existence très éphémère (en dessous de 150 km, par exemple), et aux aéronefs, qui ne peuvent obtenir de sustentation aérodynamique qu'en volant à des vitesses telles que leur échauffement serait exa-



géré. Le « mur de la chaleur », comme l'on dit, fixerait la frontière inférieure vers 85 km, ainsi que l'a proposé l'aérodynamicien von Karman. Cela ne résout pas entièrement le problème quand on fait entrer en ligne de compte les fusées non satellisées, engins balistiques militaires ou futures fusées de transport intercontinental, pour lesquelles l'altitude de 1 000 km peut être souvent dépassée. Pour les missiles, en particulier, interviennent des considérations de sécurité, car une nation neutre doit être protégée contre la chute éventuelle d'un engin offensif qui ne lui serait pas destiné. Cela amènerait à élever les limites de souveraineté des États à une altitude plus grande, de l'ordre de 1 500 km selon certains observateurs.

Si la délimitation des frontières de l'Espace s'est trouvée être le premier problème de Droit posé par l'ère astronautique, l'effort des organismes internationaux, et en premier lieu des Nations Unies, a porté de façon constante depuis 1957 sur les moyens d'interdire l'utilisation de l'Espace à des fins non pacifiques. Dans le but de préparer un projet de convention internationale, le Comité pour l'utilisation pacifique s'efforce, depuis sa création, d'établir une liste des activités spatiales à caractère militaire. La tâche n'est pas

aisée si on songe que la prise de vues photographique, par exemple, peut être utilisée aussi bien pour l'observation militaire que pour la prévision météorologique. On voit, dans ces conditions, combien l'établissement d'accords sur le désarmement dans le cosmos est tributaire de la bonne volonté des nations. On peut à ce propos rappeler les protestations soulevées en U.R.S.S. au cours de l'été 1962, aussi bien par le lancement d'un Midas de l'U.S. Air Force, que par celui de l'innocent Tiros III de veille météorologique. Il faut cependant remarquer que si le problème de la démilitarisation de l'Espace n'a réellement progressé qu'au cours de l'année 1966, des résultats importants avaient déjà été acquis par le jeu d'accords bilatéraux entre les deux « supergrands » de l'ère spatiale. C'est ainsi qu'un traité de 1963, ratifié par un vote de l'Assemblée Générale des Nations Unies en date du 17 octobre de la même année, les U.S.A. et l'U.R.S.S. s'interdisaient d'armer leurs satellites avec des charges nucléaires.

Un autre problème de portée générale et dont l'importance ne doit pas être sous-estimée est de prévenir diverses conséquences néfastes des vols spatiaux, telles qu'elles furent dénoncées il y a plusieurs années par

Sir Bernard Lowell, directeur de l'observatoire de Jodrell Bank. Ainsi, la multiplication des vols spatiaux et l'accroissement de puissance des lanceurs pourraient entraîner dans l'avenir des risques de destructions localisées de la ceinture d'ozone protégeant la surface terrestre contre le rayonnement ultraviolet solaire. Aussi le COSPAR a-t-il entrepris une étude de la pollution de la haute atmosphère par les produits de combustion des moteurs-fusées. Ces travaux pourraient servir de base à une future réglementation internationale, mais de longues études techniques seront encore nécessaires. Des préoccupations analogues ont conduit le COSPAR à préconiser la stérilisation des sondes spatiales, telle qu'elle est couramment pratiquée maintenant par les U.S.A. aussi bien que par l'U.R.S.S. et les autres puissances spatiales. Il s'agit d'éviter toute contamination de l'Espace et des planètes au détriment des traces de vie qui pourraient s'y trouver et des cosmonautes qui un jour y débarqueront.

D'autres domaines, d'extension plus limitée, requièrent par contre l'élaboration rapide de règlements internationaux. C'est le cas des questions de responsabilité pour les dommages causés par le lancement d'une fusée spatiale ou la rentrée d'un engin orbital dans l'atmosphère. La résolution de l'Assemblée Générale des Nations Unies, en date du 13 décembre 1963, pose le principe de la responsabilité nationale en cas de dommages causés à un autre Etat. Nul ne semble contester ce principe, qui doit cependant recevoir un contenu juridique précis portant en particulier sur les conditions d'indemnisation. Le même texte de 1963 prescrit l'assistance aux cosmonautes qui atterriraient en territoire étranger. La recherche des modalités d'application de ce principe alimente encore aujourd'hui les travaux des associations internationales de juristes, mais on peut considérer que, sur ce point comme sur celui de la responsabilité, la rédaction d'un projet de convention internationale est en bonne voie. Les deux principes sont d'ailleurs réaffirmés par le Traité sur l'utilisation pacifique de l'Espace, qui vient d'être adopté par l'Assemblée Générale des Nations Unies.

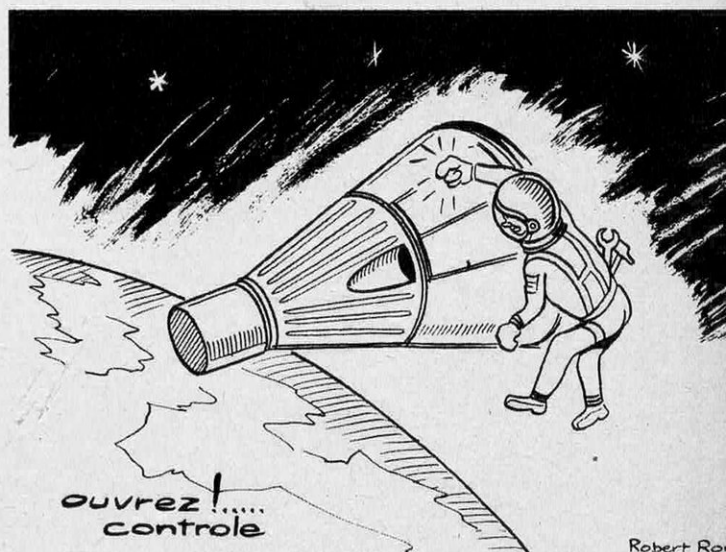
On doit cependant remarquer que l'établissement de textes d'application commode sur la question de responsabilité nationale n'épuisera pas le problème. Déjà, dans la mise sur orbite de certains satellites de télécommunications, se trouvent, aux U.S.A., impliquées des firmes privées. Demain, des satellites technologiques seront lancés sous le contrôle de divers groupes industriels. Il faudra donc étendre la notion de responsabilité à tous ces organismes privés.

En de nombreux domaines, on retrouve le même problème : la nécessité d'élaborer un arsenal juridique assez important pour « couvrir » le développement de l'astronautique, qui aboutira dans quelques années à une exploitation intensive de l'Espace. Il ne fait pas de doute en particulier qu'un certain encombrement de l'Espace proche se fera jour : il est donc nécessaire de s'entendre dès maintenant sur l'élimination des « épaves », satellites hors d'usage, étages supérieurs des lanceurs, etc. Il est tout aussi important de parvenir à une meilleure coordination des activités spatiales des différentes nations, aboutissant, par exemple, à la création d'une forme quelconque d'agence internationale à laquelle des lancements seraient à l'avance annoncés. L'idée n'est, au fond, pas nouvelle, puisque l'actuel président des Etats-Unis réclamait dès 1957 que l'ensemble des activités spatiales des Nations soient placées sous le contrôle de l'O.N.U.

Mais, ici, il s'agit plus de circulation spatiale que de désarmement, et l'agence internationale pourrait logiquement se compléter d'un tribunal international de « simple police de l'Espace » pour trancher les inévitables différends.

Moins juridique que proprement technique apparaît la nécessaire répartition des fréquences radioélectriques utilisées pour la transmission des ordres, pour la télémessure à bord des fusées et des satellites scientifiques comme pour le relais des conversations téléphoniques, des liaisons par télex, ou des programmes de télévision. L'Union Internationale des Télécommunications fait un gros effort dans ce domaine.

Le statut juridique des corps célestes n'est pas encore défini. Les textes actuellement en



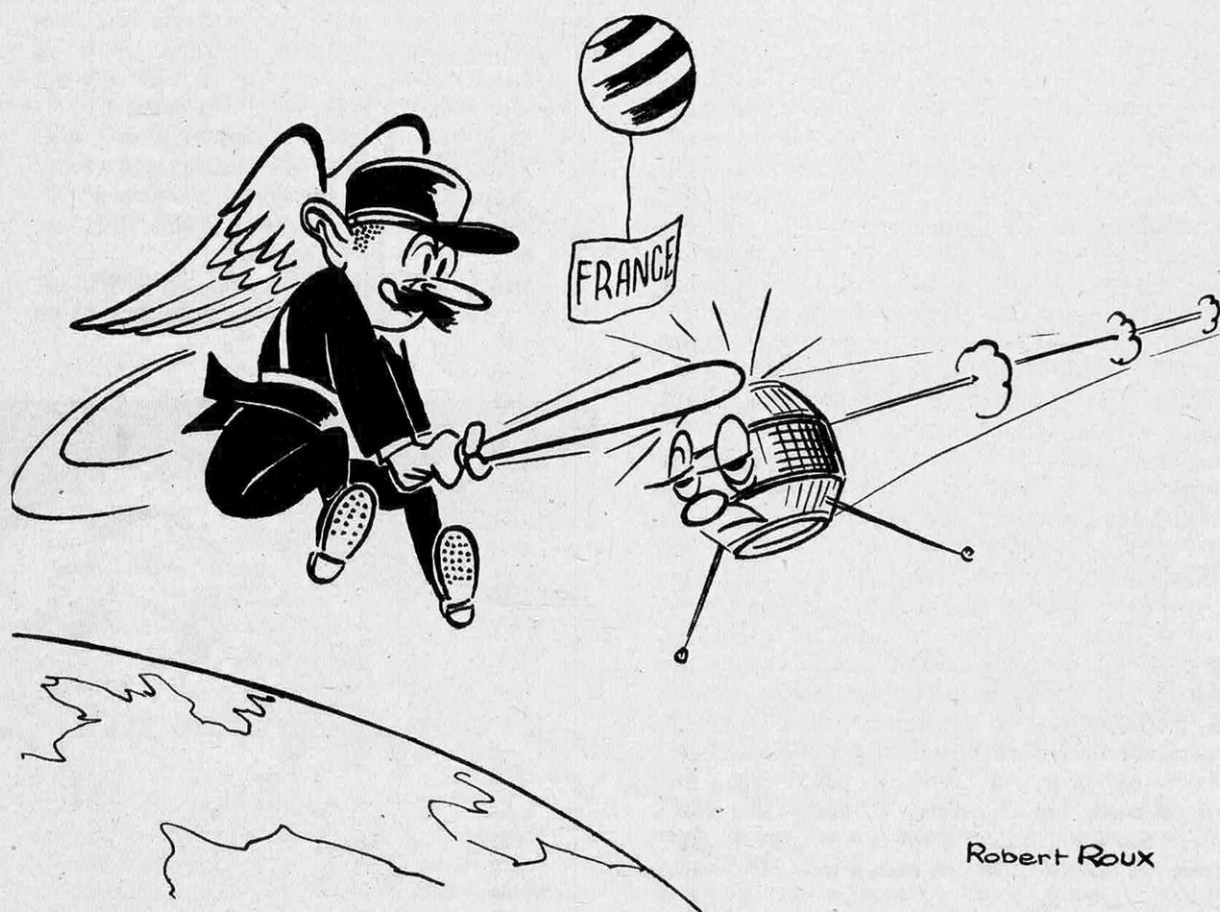
Robert Ro

vigueur posent seulement qu'ils ne peuvent faire l'objet d'appropriation nationale exclusive, principe auquel tout le monde, aussi bien les Russes que les Américains, se réfèrent volontiers. Pourtant, il faut s'attendre à voir débarquer d'ici quelques années, puis cohabiter, des Russes et des Américains sur la Lune. Des stations scientifiques seront installées par les deux grandes puissances sur notre satellite, des gisements de minerais seront peut-être mis en exploitation et, dans ces conditions, des problèmes de propriété vont se poser. C'est pourquoi de nombreux juristes pensent souhaitable de donner à la Lune un statut international comparable à celui du Continent antarctique, sous le contrôle d'une agence internationale spécialisée qui pourrait partager le sol lunaire en concessions nationales. Il est sans doute prématuré de vouloir établir des règles trop strictes plusieurs années avant la conquête effective de notre satellite naturel, mais la question est préoccupante si on veut éviter un jour d'être dépassé par les événements.

En décembre 1966, une étape importante a été franchie, avec la ratification par l'Assemblée Générale des Nations Unies du

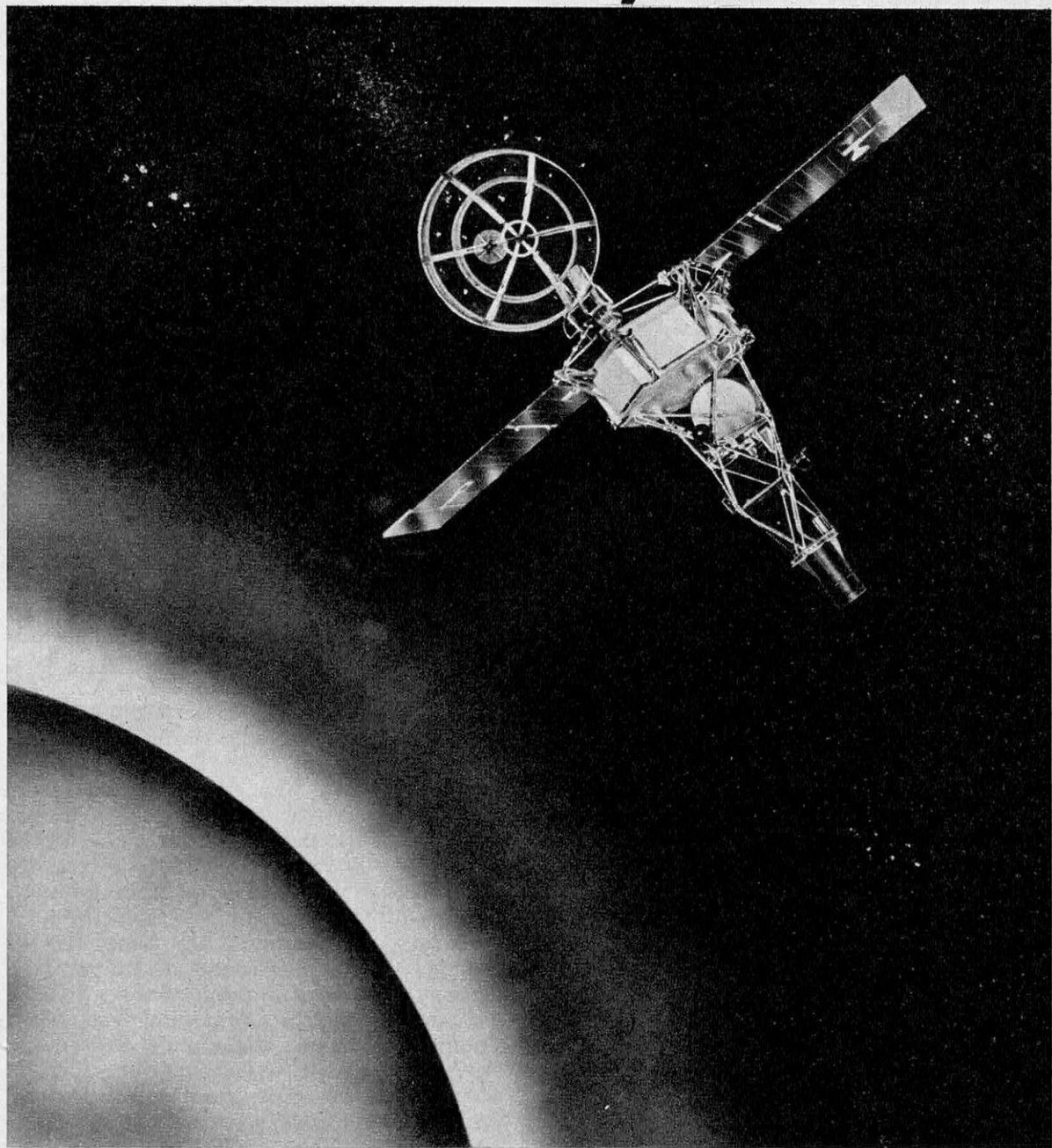
Traité sur l'exploration pacifique de l'Espace. Ce traité avait été préparé à Genève durant l'été par les experts du Comité pour l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique. Comportant dix-sept articles, le traité réaffirme le principe du libre accès de tout pays à l'exploration de l'Espace et celui de la non-appropriation des corps célestes. Il précise même que les installations construites sur un corps céleste par une nation quelle qu'elle soit seront accessibles sans distinction aux astronautes de toutes nationalités. L'article 4 étend les dispositions du traité U.S.A.-U.R.S.S. de 1963 sur la démilitarisation du cosmos : il interdit non seulement de placer des charges nucléaires à bord d'engins spatiaux, mais aussi l'installation de bases militaires et d'armes de destruction massive sur les corps célestes. L'expérimentation même de tels moyens de destruction massive dans l'Espace est interdite. Enfin, le traité réaffirme, entre autres, les principes de responsabilité en cas de dommages causés (en étendant cette disposition aux organismes non gouvernementaux) et d'aide aux astronautes en difficulté.

André ROUVILLE



Robert Roux

demain, les planètes



NASA

La Lune est maintenant à notre portée. Des centaines de milliers d'hommes sont à l'œuvre pour que l'astre de nos nuits, l'inspiratrice de tant de poètes, perde sa signification symbolique de but inaccessible. Dans un an ou deux, ce sera sans doute chose faite. Y aura-t-il alors « pause » dans la conquête de l'espace ? Les concurrents, quelque peu essoufflés par les

Le passage de Mariner II à proximité de Vénus a permis de mesurer la température de la planète et de préciser la composition de son atmosphère, mais les résultats ainsi obtenus sont encore largement contestés.

budgets colossaux consacrés à cette entreprise, mettront-ils cette occasion à profit pour s'unir dans un programme commun axé pour le principal sur l'exploration et éventuellement l'exploration de notre satellite naturel ? Cela est fort possible, mais il ne faut pas se leurrer.

La course à la Lune, comme toutes les courses, ne peut avoir qu'un seul gagnant. L'« impact psychologique » qui en résultera à l'échelle du globe ne pourra qu'inciter le perdant à se fixer un nouveau but, plus lointain encore. D'ores et déjà, les Etats-Unis semblent devoir orienter leurs efforts « post-lunaires » sur le programme « Apollo Applications », destiné à exploiter au maximum — dans les limites de notre « proche banlieue » — le matériel mis au point pour la Lune ; il ne fait pas de doute que, si le premier « sélénite » doit être un Soviétique, la priorité absolue pourrait être donnée aux U.S.A. à un programme d'exploration planétaire.

Huit planètes principales s'offrent à la curiosité de l'homme. Deux seulement, Mars et Vénus, ont jusqu'à présent reçu la visite de sondes automatiques envoyées en éclaireurs. Leur proximité — toute relative — les désigne comme premières étapes. Mais, planète après planète, il ne fait pas de doute que l'Homme fera tôt ou tard la conquête du système solaire tout entier. Au delà, il se heurtera au problème insoluble de la durée du voyage qui lui interdira, dans le cours d'une vie humaine, de pousser jusqu'à une autre étoile, même parmi les plus proches dont la distance se chiffre par dizaines d'années-lumière. Mais l'exploration directe de son monde planétaire va offrir déjà à son activité spatiale un champ suffisamment vaste, peut-être pour plusieurs générations.

Mars, la planète rouge

Depuis 1877, année où l'astronome italien Schiaparelli crut découvrir à sa surface ce qu'il appelait des « canaux », Mars a retenu l'attention particulière des Terriens et est devenue la proie favorite de leur imagination. Auparavant, on considérait déjà que Mars, étant plus éloignée du Soleil que la Terre (230 millions de km en moyenne contre 150), était un monde plus ancien, et donc plus évolué.

La découverte des « canaux » était, à n'en pas douter, une preuve éclatante de la haute civilisation des Martiens. Cette croyance quasi-unanime fit naître une abondante littérature qui, de Lasswitz à Wells, laissait généralement aux Martiens le soin d'entrer en contact avec la Terre. Le prix Guzman,

fondé en 1900 et destiné à récompenser toute personne qui établirait une communication interplanétaire, excluait Mars, « parce qu'il était trop facile de communiquer avec cette planète ».

Depuis, les progrès de l'astronomie ont permis d'établir que les prétendus « canaux » n'étaient qu'une succession de tache colorées dont l'apparente continuité était due au faible grossissement des instruments de l'époque.

Plus récemment, on a cru déceler un ralentissement de la période de Phobos, l'un des deux satellites de Mars avec Deimos. Un tel freinage serait inconcevable si Phobos n'était qu'un amas rocheux de 10 km de diamètre. On a donc émis l'hypothèse d'un satellite creux et, par voie de conséquence, artificiel. C'est là le seul argument — bien sujet à caution — qui subsiste en faveur d'une vie évoluée qui régnerait ou aurait régné sur Mars.

Quelques points rapprochent Mars de la Terre : la « planète rouge » (elle est ainsi appelée parce que la majeure partie de sa surface a une teinte rougeâtre) tourne sur elle-même en 24 h 37 mn autour d'un axe incliné de 25° sur le plan de son orbite, et les « jours » martiens sont équivalents aux jours terrestres. De même, les saisons sont comparables aux nôtres, mais sont deux fois plus longues, car Mars met 687 jours à boucler son orbite autour du Soleil.

Mais l'analogie s'arrête là : Mars est intermédiaire de par sa taille (6 750 km de diamètre) entre la Terre et la Lune, et la pesanteur qui règne à sa surface ne représente qu'un peu plus du tiers de la pesanteur terrestre. La température moyenne de sa surface oscille autour de — 30° C, avec des maxima de + 30° C à l'équateur et des minima de — 100° C dans les régions polaires.

Quant à l'atmosphère de Mars, elle est très mal connue. Si l'astronome Kuiper a pu déceler, en 1950, une proportion de 2 % de gaz carbonique, la composition des 98 % restants n'a pu être déterminée. Sans doute s'agit-il en grande partie d'azote, avec de faibles quantités d'oxygène et d'argon. La pression atmosphérique est extrêmement faible, 30 millibars selon des estimations faites en 1965 par Dolfuss, 7 millibars en moyenne selon les mesures effectuées par la sonde Mariner IV.

Les différences de température régnant à la surface de la planète provoquent la formation de vents assez faibles, de l'ordre de 35 km/h. Ces vents entraînent différents types de nuages, les nuages blancs qui sont constitués de cristaux de glace, et les nuages jaunes qui seraient comparables à nos tem-

pêtes de sable. Il existe trois autres types de nuages, les nuages bleus, qui se forment dans la haute atmosphère, les brumes matinales, et les nuages polaires. Ces derniers, constitués de cristaux de glace, disparaissent au cours de l'hiver, pendant que se forme une calotte de givre. Le phénomène s'inverse ensuite, et les pôles perdent leur givre au profit des nuages.

La surface de Mars comprend deux types de régions : les régions claires, sans doute recouvertes d'une matière poudreuse comparable à de la limonite, et les régions sombres, qui pourraient être recouvertes de sortes de lichens et sont sujettes à des variations saisonnières. Les « canaux », qui passent au travers des régions claires, semblent être de même nature que les régions sombres.

On le voit, bien des inconnues subsistent. Celle qui conditionne le plus l'exploration future est relative à la structure et à la densité de l'atmosphère, dont une connaissance parfaite est nécessaire pour adopter des moyens de freinage appropriés. Cela mis à part, les conditions martiennes apparaissent relativement clémentes par rapport à celles qui règnent à la surface de Vénus, et l'on comprend que, bien que le voyage soit plus long et plus coûteux en combustible, Mars soit généralement considérée comme la première planète où les Terriens poseront le pied après la Lune.

Les Soviétiques et Mars

Les Soviétiques montrèrent très tôt leur intérêt pour les planètes. Si leur première tentative d'exploration planétaire se fit en direction de Vénus (avec Vénus 1, surnommée improprement *Venusik*), ils ne tardèrent pas à viser Mars en lançant le 1^{er} novembre 1962 la sonde Mars 1. Cet engin perfectionné de quelque 900 kg disposait de cellules solaires, d'une antenne directionnelle, et d'un système de régulation thermique complexe. Son moteur de correction de trajectoire lui permettait de rattraper une erreur initiale allant jusqu'à 500 000 km ; or, en l'occurrence, la sonde serait passée sans correction à moins de 193 000 km de la planète. C'est dire que ses chances étaient grandes. Le 2 janvier 1963, la sonde battait le record des télécommunications à grande distance établi par Mariner II avec 87 millions de km. Le 21 mars, une séance de communication avait été tenue avec la sonde à une distance de 106 millions de km. Tous les appareils fonctionnaient normalement, et la température du compartiment des instruments restait dans les limites prévues de 20 à 30° C. Cependant, une défectuosité apparut bientôt dans

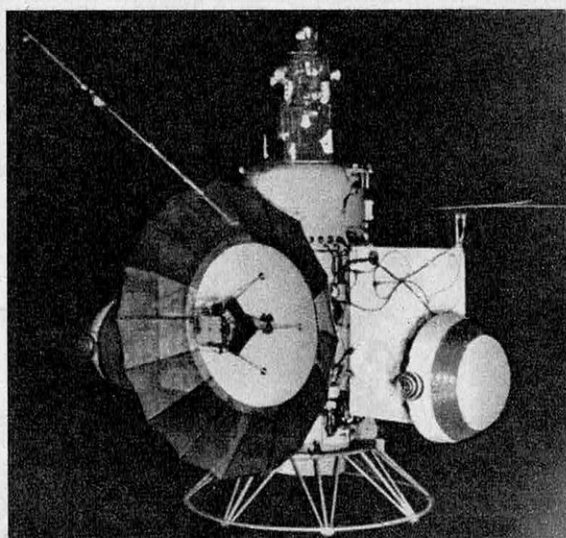


PHOTO A.P.N.

Tiré en novembre 1962 à partir d'une orbite d'attente, l'engin soviétique Mars 1 emportait un équipement de télévision et de-

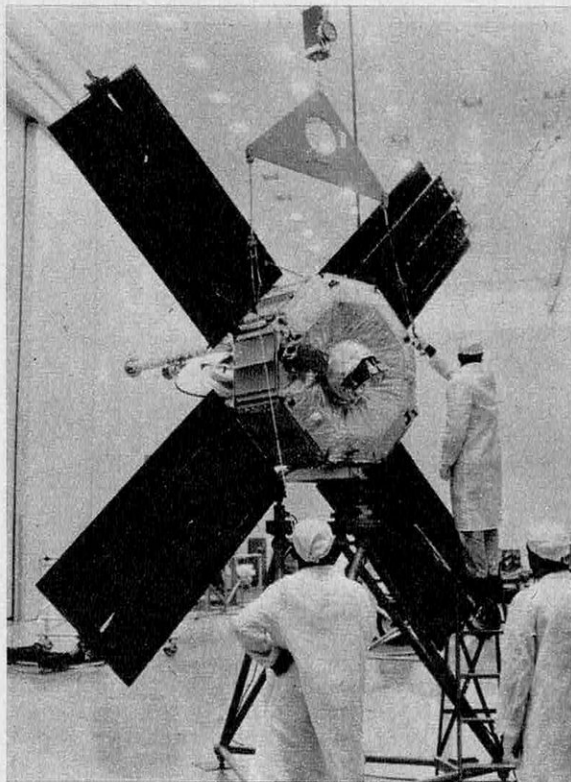
vait se livrer à une étude approfondie de l'environnement martien. Le contact radio fut malheureusement perdu en mars 1963.

le système de contrôle d'altitude. L'antenne directionnelle « perdit » la Terre, et toutes les tentatives ultérieures de réanimation restèrent sans effet.

La deuxième tentative soviétique n'eut pas plus de succès. Lancée le 30 novembre 1964, trois jours après la sonde américaine Mariner IV, Zond II visait officiellement à « expérimenter divers systèmes dans les conditions réelles d'un vol prolongé ». Il s'agissait donc d'une sonde « technologique », et le but martien était somme toute secondaire. Ce vol, destiné à la mise au point d'un électronique « fiable », tourna court par suite de la défaillance de... l'électronique : le 6 mai 1965, le Dr. Gennadiy Shuridine était contraint de déclarer que Zond II avait cessé d'émettre du fait, semble-t-il, d'un mauvais fonctionnement de ses cellules solaires.

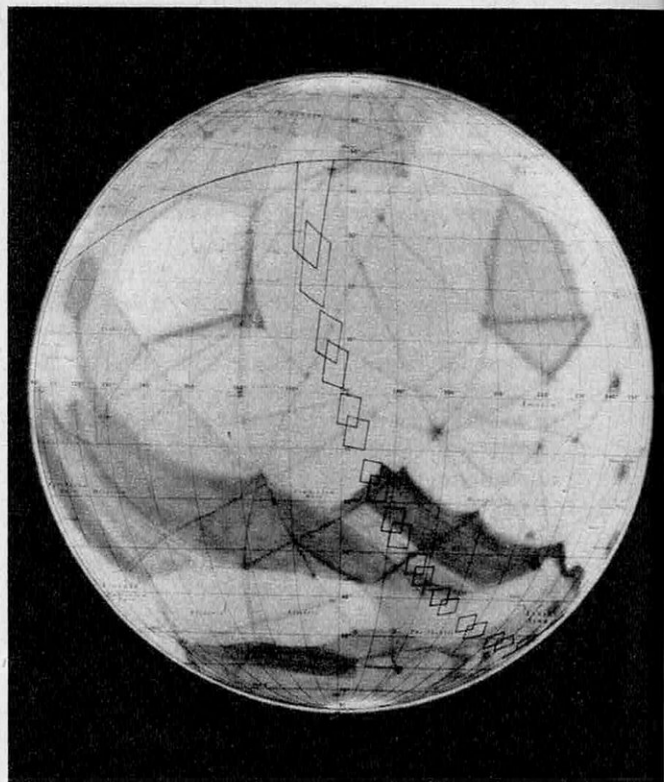
Triomphe de l'électronique américaine

Si les Américains n'avaient pas mis à profit la « fenêtre » martienne de 1962, ils comptaient bien profiter de l'occasion qui leur était offerte en 1964. A cet effet, deux sondes Mariner étaient prêtes. Répondant à la même conception générale que leurs prédécesseurs vénusiens, elles disposaient cependant de quatre panneaux solaires au lieu de deux, ceci pour leur assurer une alimentation électrique suffisante malgré la distance beaucoup plus grande qui les séparerait



Les techniciens de la N.A.S.A. s'affairent autour de Mariner IV, panneaux solaires déployés. Au centre, on

remarque l'ensemble caméra-senseur solaire-senseur martien. En arrière, on aperçoit les antennes de radio.



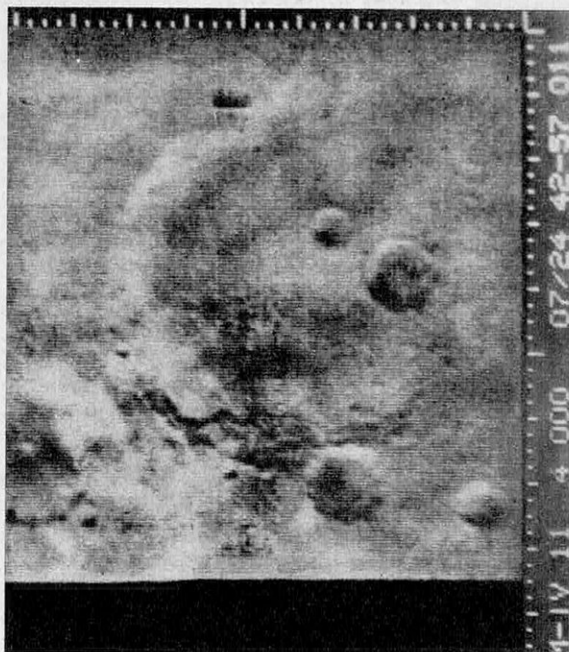
Ce montage représente les zones de la planète Mars photographiées successivement par Mariner IV.

En haut, l'arc de cercle correspond à l'horizon de Mars tel qu'il apparaissait sur le premier des clichés.

du Soleil. De plus, elles avaient été munies d'un système de télévision leur permettant de prendre des images rapprochées de la surface de Mars.

Partie le 5 novembre 1964 de Cap Kennedy, Mariner III fut placée correctement sur son orbite de parking. Le deuxième étage Agena D de son lanceur Atlas-Agena fut ensuite correctement remis à feu. Malheureusement, le sort voulut que le carénage protégeant la sonde ne se détachât qu'imparfaitement, et ce « poids mort » de 136 kg se traduisit par une vitesse finale inférieure de 254 m/s à la valeur désirée. De toutes façon, le carénage interdisait le déploiement des panneaux solaires, et c'est une sonde aveugle et muette qui passa à 68 millions de km de Mars, le 16 avril 1965.

Un tel échec, se produisant lors même du lancement, n'incitait guère à l'optimisme pour Mariner IV qui restait en réserve. Cependant les techniciens eurent le temps de réaliser un nouveau type de carénage, et le deuxième exemplaire de la sonde put partir à son tour le 28 novembre, à quelques jours seulement de la « fermeture » de la



L'aspect du sol martien, tel que le révèlent les meilleures photo-

graphies de la série, est peu différent de celui du sol lunaire.

« fenêtre » martienne. Cette fois, tout se passa bien : la trajectoire initiale était satisfaisante, et la correction de mi-parcours amena Mariner IV à passer à 9000 km de Mars, le 14 juillet 1965, après un voyage de 228 jours. Le monde entier attendait le message du premier voyageur martien ; certains, trop confiants peut-être, attendaient la révélation d'une forme de vie sur Mars. On ne vit pas de ville martienne sur les vingt-deux photos que transmet Mariner IV, mais une surface grêlée de cratères, en fait une nouvelle Lune, un monde mort et de plus sans relief apparent. Les mesures n'accusaient pas de champ magnétique sensible. Juste avant que Mariner IV ne passe derrière Mars, ses signaux durent traverser l'atmosphère martienne pour parvenir jusqu'à la Terre. La déformation des signaux lors de cette « occultation » permit de déterminer la valeur de la pression atmosphérique que nous avons citée plus haut.

Certes, l'on ne découvrait pas ces oasis verdoyantes que s'imaginait Lasswitz. On découvrait un monde figé, une page d'histoire du système solaire dans un parfait état de conservation. Sans doute peut-on dire sans trop s'aventurer que cet astre fossile nous apprendra autant sur le système solaire que la Lune risque de nous en apprendre sur notre propre planète. N'est-ce pas là une raison suffisante pour que l'homme cherche à s'y rendre ?

La prochaine étape : descente sur Mars

La prochaine période favorable pour un lancement vers Mars se situait vers janvier 1967. Du côté américain, rien n'était prévu officiellement ; par contre, il était fort probable que les Soviétiques missent à profit cette pause américaine pour tenter de faire oublier leurs précédents échecs. Peut-être même tenteraient-ils de faire atterrir sur Mars une capsule rudimentaire, comparable à celle larguée par Vénus III sur l'Etoile du Berger. Le choc psychologique résultant d'une telle expérience serait énorme, et il n'est pas dans les habitudes des Soviétiques de négliger ce facteur... Un autre argument venait en faveur de cette hypothèse : les Américains envisagent de confier une mission semblable à leurs Mariner de 1971.

La réussite d'une telle expérience dès 1967 assurerait au moins quatre ans d'avance aux Soviétiques.

Quel peut être l'intérêt scientifique d'une telle « mini-capsule » ? Avant tout, de dresser la carte de l'atmosphère martienne, pour déterminer les trajectoires et les systèmes de

freinage les plus appropriés pour les futurs engins d'exploration. On n'est pas certain cependant de pouvoir obtenir par ces moyens des informations suffisamment précises et certains spécialistes américains estiment qu'un engin placé sur orbite autour de Mars pourrait, par la méthode de l'occultation expérimentée avec Mariner IV, obtenir des résultats plus intéressants.

Ces engins qui ne feront que survoler Mars seront cependant nettement plus évolués que les précédents Mariner martiens de 261 kg : disposant de la fusée Atlas-Centaur — celle-là même qui lance les Surveyor vers la Lune —, les techniciens se trouveront plus à l'aise puisque la charge utile passera ainsi à 365 kg.

Ces 100 kg supplémentaires se traduiront par une « sophistication » accrue des appareils embarqués, permettant d'obtenir des mesures plus précises et plus nombreuses, ainsi que des photos de meilleure qualité.

Les capsules de rentrée prévues pour les Mariner de 1971 auront aussi pour mission principale d'étudier la structure de l'atmosphère martienne.

Protégées par une enveloppe de balsa à l'instar des capsules à alunissage « dur » dont étaient pourvus les premiers Ranger lunaires, peut-être pourraient-elles emporter un système de transmission de fac-simile du sol.

La mission plus noble de rechercher la vie sur Mars reviendra à des engins beaucoup plus lourds et complexes, qui sont déjà à l'étude dans l'industrie américaine, et dont le nom, Voyager, indique bien qu'ils constitueront les derniers éclaireurs précédant l'homme.

« Voyager » : 40 fois plus lourd que Mariner IV

Le programme Voyager, de par son énorme complexité — il coûtera un milliard de francs actuels au contribuable américain — a déjà connu bien des aléas : de 1969, le vol du premier Voyager a été reporté à 1971, puis à 1973, principalement pour des questions budgétaires. Les mêmes raisons ont conduit à abandonner le développement de la fusée Saturn IB-Centaur, une Saturn I améliorée surmontée du deuxième étage d'Atlas-Centaur, et à utiliser directement la gigantesque fusée lunaire Saturn V pour lancer d'un seul coup deux Voyager de dix tonnes chacun.

Trois firmes américaines ont actuellement un projet de Voyager dans leurs cartons : General Electric, Boeing, et TRW Systems. Le gagnant de la compétition doit être désigné au début de 1968. Nous ne disposons

actuellement de renseignements détaillés que sur le projet General Electric.

Si les solutions apportées par les autres concurrents sont susceptibles de présenter certaines variations, la conception modulaire reste la même : un module orbital, tout d'abord, qui contrôle l'ensemble du vaisseau au cours du voyage vers Mars et dispose d'une rétrofusée très puissante (sans doute un deuxième étage du missile intercontinental Minuteman). Ce moteur est chargé de placer l'ensemble sur l'orbite martienne. Dans un deuxième temps intervient la séparation du module martien, une capsule conique dont la forme rappelle, en plus aplatie, celle du module de commandement du vaisseau lunaire Apollo. Afin de limiter les risques de contamination, ce module serait placé avant le départ dans une capsule scellée qui ne le libérerait qu'après mise à feu de la rétrofusée chargée de le faire « descendre » dans l'atmosphère martienne. Une fois sur Mars, ce module transmettrait ses renseignements à la Terre par l'intermédiaire du module orbital, qui servirait ainsi de relais en même temps qu'ils mènerait son propre programme d'expériences sur orbite martienne.

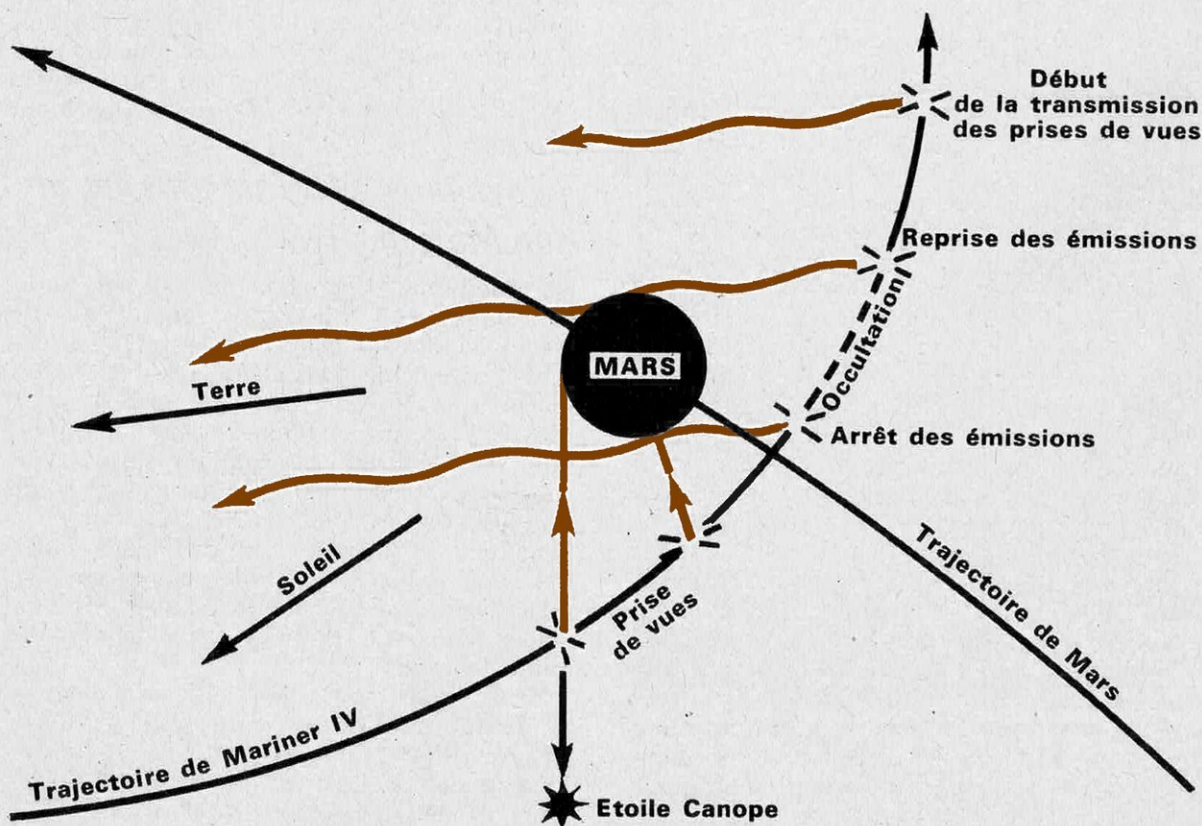
Si l'expérience acquise avec les sondes planétaires de la NASA permet d'aborder avec confiance l'étude du module orbital, il

n'en est pas de même pour le Voyager proprement dit, le module martien. Si l'on suppose résolu le problème de la rentrée dans l'atmosphère martienne, encore faudra-t-il développer un système d'atterrissage efficace. Malgré la faible densité de cette atmosphère, l'on s'oriente actuellement vers l'usage de parachutes « surdimensionnés », car des rétrofusées augmenteraient d'une façon considérable la complexité d'un engin qui l'est déjà suffisamment.

Déjà, le 30 août 1966, la NASA a expérimenté un tel système de freinage. A cet effet, une capsule conique de 725 kg a été placée à 40 km d'altitude par le ballon le plus gros du monde (740 000 m³), puis accélérée par des fusées jusqu'à Mach 1,2. L'altitude et la vitesse correspondaient alors approximativement aux conditions prévisibles pour une rentrée martienne, et le parachute de 25 m de diamètre a été éprouvé avec succès. Cependant, la taille des parachutes étant tout de même limitée, ils ne sauraient assurer une vitesse à l'impact inférieure à 150 m/s, soit quinze fois plus que nos parachutistes.

Dans les minutes précédant l'entrée de Mariner dans l'ombre de Mars, les signaux émis par la sonde é-

taient amenés à traverser l'atmosphère de la planète, ce qui a permis d'en préciser la très faible pression.



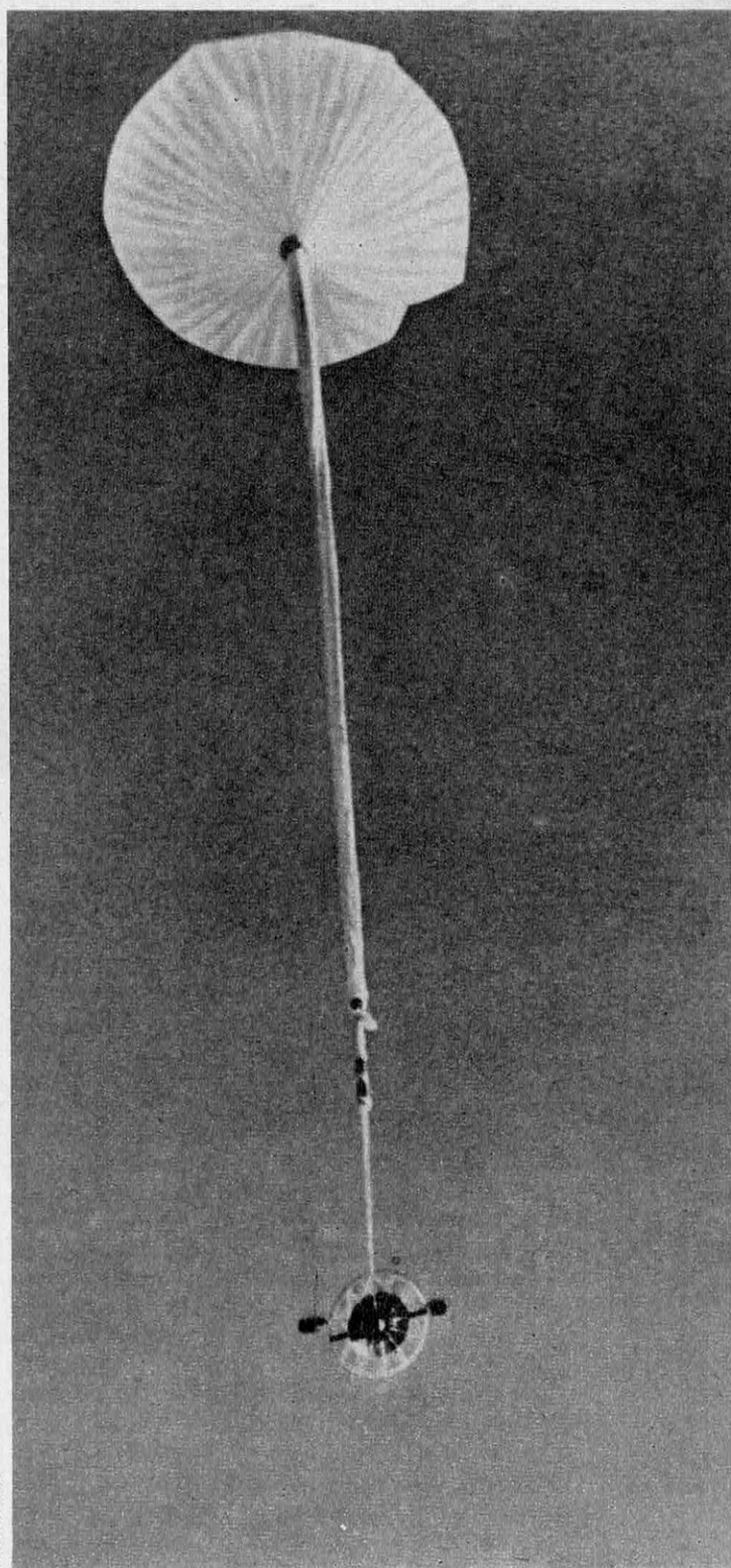
A une telle vitesse correspondrait une décélération à l'impact de 2500 g. La NASA a prévu ces conditions extrêmes : tous les instruments seront conçus pour résister à 10 000 g...

Les « détectives » de la vie martienne

Mais quelle sera la charge utile de ce « boulet » qui heurtera la surface martienne ? Dans l'état actuel des choses, on ne connaît pratiquement que son nom : l'« ABL » (*Automated Biological Laboratory*). Sa configuration générale a également été révélée : une sorte de sphère entourée de quatre « pétales » destinés à lui assurer une assise stable, et surmontée d'un mat vertical qui n'est autre qu'un pylone de... téléphérique. L'« ABL » disposera en effet d'un moyen original pour récolter des échantillons de poussière martienne : deux « minifusées » capables de s'éloigner à quelques kilomètres de l'engin, tout en lui restant liées par des fils. Une fois ces « câbles » mis en place, des collecteurs de poussière les emprunteront à la manière des bennes de téléphériques. Les échantillons, ainsi que d'autres relevés au lieu même de l'atterrissage, seront analysés, placés dans des milieux de culture, et la multiplication éventuelle de bactéries dans ce milieu se traduira alors par un signal électronique annonçant à la Terre qu'elle n'est pas seule à connaître la Vie...

Après l'automate : l'homme

Si le trajet Terre-Lune demande à l'heure actuelle trois jours, il faut porter ce délai à 250 jours environ lorsque l'on envisage de se diriger vers Mars. Cette disproportion dans le temps ne se traduit heureusement pas par une augmentation considérable de la puissance nécessaire : s'il faut un peu moins de 11 km/s pour atteindre la Lune, 11,5 km/s suffisent pour Mars. Certes, cette légère différence de vitesse entraîne une diminution notable de la charge utile. D'autre part, les besoins d'une expédition aussi prolongée et complexe conduisent à envisager des vaisseaux de trois à quatre fois plus lourds que l'ensemble lunaire Apollo (43 tonnes). Mais le programme Gemini a administré la preuve magistrale que la technique du rendez-vous pouvait apporter une solution élégante et rapide à de tels problèmes. Il est donc fort probable que le matériel martien dérivera en droite ligne du matériel lunaire : il suffirait sans doute de trois ou quatre Saturn V améliorées par l'adjonction d'accélérateurs auxiliaires pour placer



Amené à 40 km d'altitude par un gigantesque ballon progressivement déployé (ci-dessus) la maquette de

l'engin Voyager va être accélérée à Mach 1,2 puis freinée au cours de sa descente par un parachute de 25 m.

sur orbite terrestre les éléments du vaisseau et le système propulsif chargé de l'injecter sur une orbite martienne. Le reste n'est qu'une question de budget. Si la NASA n'a encore aucun programme officiel d'explorations des planètes par l'homme, il y a fort à parier qu'une offensive soviétique en ce domaine lui ferait attribuer les crédits nécessaires.

Il serait alors hautement probable qu'une mission humaine vienne conclure prématurément la carrière des Voyager martiens, dont huit exemplaires sont actuellement programmés pour la période 1973-1979.

Vénus : une « planète sœur » peu accueillante

Avant les observations de Mars par Schiaparelli, Vénus, l'Etoile du Berger, tenait la « vedette » parmi toutes les planètes du système solaire. Ceci provenait principalement du fait que Vénus est notre plus proche voisine, et donc la plus visible : son orbite, presque parfaitement circulaire, l'éloigne en moyenne à 108 millions de km du Soleil, 40 millions de km plus « bas » que la Terre.

Pour Fontenelle, dans ses « Entretiens sur la pluralité des mondes », les Vénusiens étaient très férus d'arts et de lettres, mais la gastronomie leur était pratiquement inconnue, puisqu'ils se nourrissaient... d'air ! L'astronome Franz von Gruithuisen pensait, de son côté, que la végétation vénusienne était comparable à la forêt amazonienne. Avant lui, bien des savants avaient cherché à expliquer la « lumière cendrée » de Vénus ; mais il remporta certainement la palme de l'originalité en affirmant que la planète s'illuminait ainsi pour les cérémonies du couronnement d'un nouvel empereur... Selon d'autres, comme l'inventeur français Charles Cros, cette lumière était un signal destiné aux Terriens, et auquel il fallait répondre à l'aide d'un miroir gigantesque qui concentrerait les rayons du Soleil sur les déserts vénusiens, y dessinant des figures géométriques.

La probabilité d'une forme de vie évoluée sur Vénus est extrêmement faible, bien plus faible encore que pour Mars. Si les mesures effectuées par la sonde américaine Mariner II sont valables, il faudrait compter sur une température de 428° C à la surface de la planète. En réalité, ce résultat est très controversé, et pourrait n'être relatif qu'à la température régnant à une certaine altitude.

En effet, Vénus nous est constamment cachée par un épais manteau de nuages, et toutes les mesures effectuées jusqu'à présent depuis la Terre ne se sont rapportées qu'à

cette couche nuageuse. Là encore, les résultats sont très divers : de -39° C pour les observations radiométriques à + 470° C pour les observations radioastronomiques.

La période de rotation de Vénus sur son axe a été également très controversée : Bolopolski l'avait évaluée à 34,5 heures, Pickering à 68 heures, Kraus à 22 heures, Kotelnikov à 11 jours. Bien d'autres astronomes, en utilisant d'autres méthodes, ont trouvé des chiffres encore différents. Dollfuss, en particulier, était arrivé à la conclusion que Vénus fait un tour sur elle-même en une année vénusienne (225 jours terrestres), c'est-à-dire qu'elle présentait toujours la même face au Soleil.

Les observations par radar ont démontré récemment que la planète tourne effectivement très lentement sur elle-même, à raison d'un tour en 2 780 heures, mais avec cette particularité que cette rotation s'effectue, comme pour Uranus, dans le sens rétrograde, c'est-à-dire dans le sens opposé à celui de la rotation autour du Soleil.

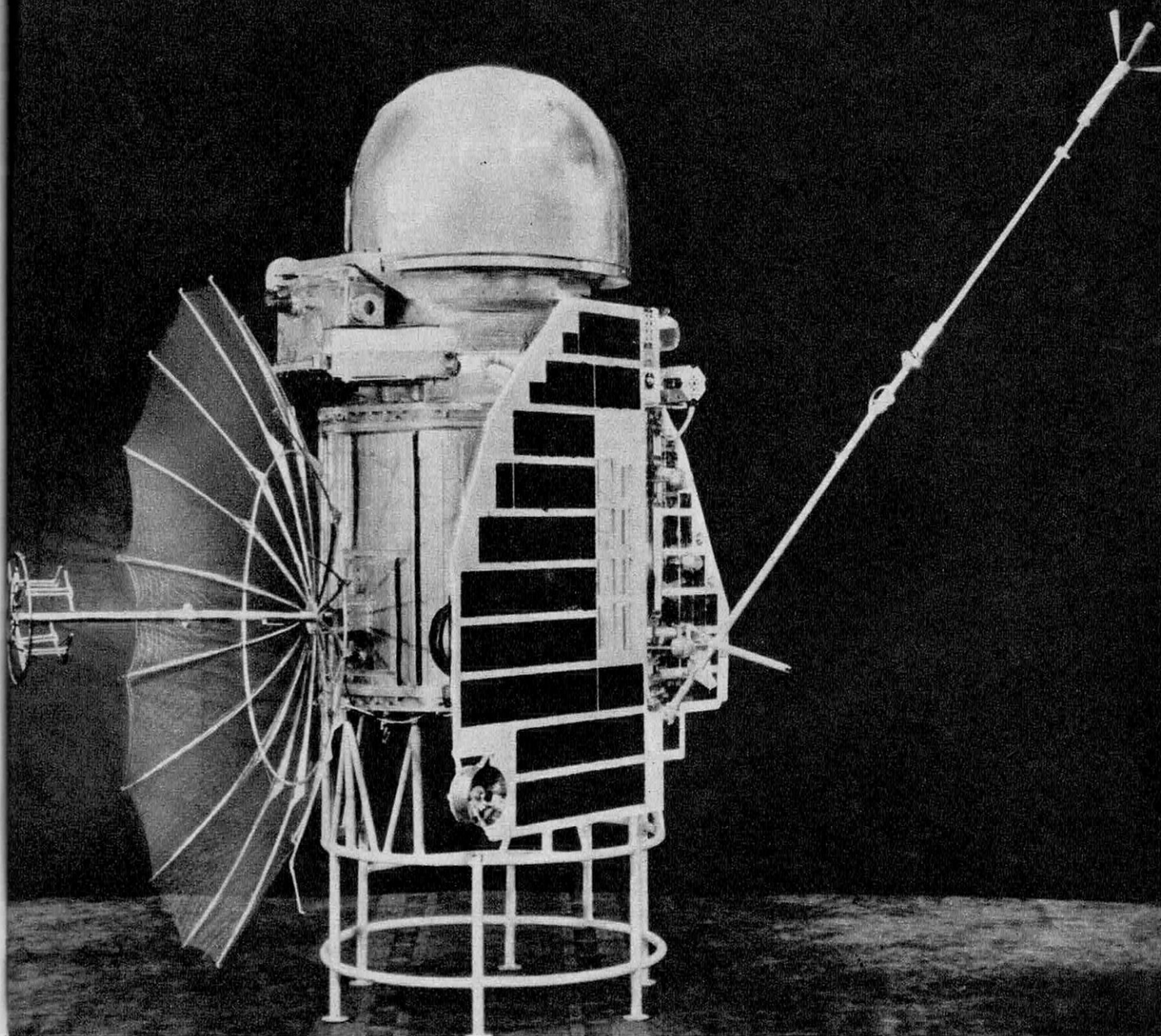
La lenteur de la rotation est compatible avec les températures relevées par Mariner II, et expliquerait également que la sonde n'ait pas détecté de champ magnétique appréciable. En effet, on considère généralement que le champ magnétique d'une planète provient de la rotation différentielle de l'écorce superficielle « flottant » sur la magma. Selon cette théorie, une planète tournant lentement sur son axe ne créerait pas de champ magnétique.

Le seul point sur lequel l'unanimité semble se faire est relatif à l'atmosphère de Vénus, qui serait extrêmement dense et constituée pour sa plus grande partie de gaz carbonique, avec des traces d'oxygène et peut-être d'azote. Cette atmosphère serait le siège d'orages électriques et d'autres phénomènes d'une extrême violence.

On le voit, rien n'est particulièrement engageant dans cette description. Et l'on comprend, compte tenu du fait qu'il est plus facile de réchauffer un astronaute que de le refroidir, que Mars bénéficie d'une certaine priorité.

Pourtant, beaucoup de points rapprochent Vénus de notre planète natale : son diamètre est de 12 200 km contre 12 760 pour la Terre : sa densité est de 5,1, à peine moins que notre globe (5,5) ; en conséquence, la pesanteur qui règne à sa surface est très proche de la nôtre : un objet pesant 100 kg « terriens » en pèserait 88 sur Vénus.

Ce n'est pourtant pas cette similitude qui est à l'origine des efforts faits en sa faveur dès les premières heures de l'exploration spatiale, mais le fait que le voyage Terre-



Vénus est beaucoup plus court que le voyage Terre-Mars (145 jours contre 250), ce qui représentait déjà une dure épreuve pour une électronique alors peu sûre. De plus les panneaux solaires récoltent d'autant plus d'énergie que la sonde se rapproche du Soleil, ce qui est le cas pour un voyage vers Vénus, mais non vers Mars.

Vénus, point de mire soviétique ?

Les Soviétiques ont lancé officiellement quatre sondes vers Vénus, contre deux vers Mars. Il semblerait donc que leur programme planétaire soit orienté différemment de celui des Américains. En réalité, cette majorité des tirs vénusiens pourrait tout sim-

La sonde soviétique Vénus I (644 kg) lancée en février 61 à partir d'une orbite d'attente, perdit le contact radio avec la Terre

alors qu'elle s'en trouvait éloignée de près de 7 millions de kilomètres. Elle s'est finalement placée sur orbite autour du Soleil.

plement traduire leur inquiétude devant les défaillances de leur électronique planétaire, et leur souci de roder ce matériel sur courte distance avant de partir à l'assaut de Mars.

La première tentative des Soviétiques vers Vénus eut lieu le 12 février 1961, deux mois exactement avant le départ du Major Gagarine à bord de Vostok I. Le lancement de Vénus I, alias Vénusik — ainsi baptisé par la Presse en référence aux Spoutnik et Lu-

VÉNUS II

Moteur de correction
de trajectoire

Magnétomètre

Moteur de contrôle d'attitude

Case d'équipements

Panneau de
cellules solaires

Réservoir de carburant
pour contrôle d'attitude

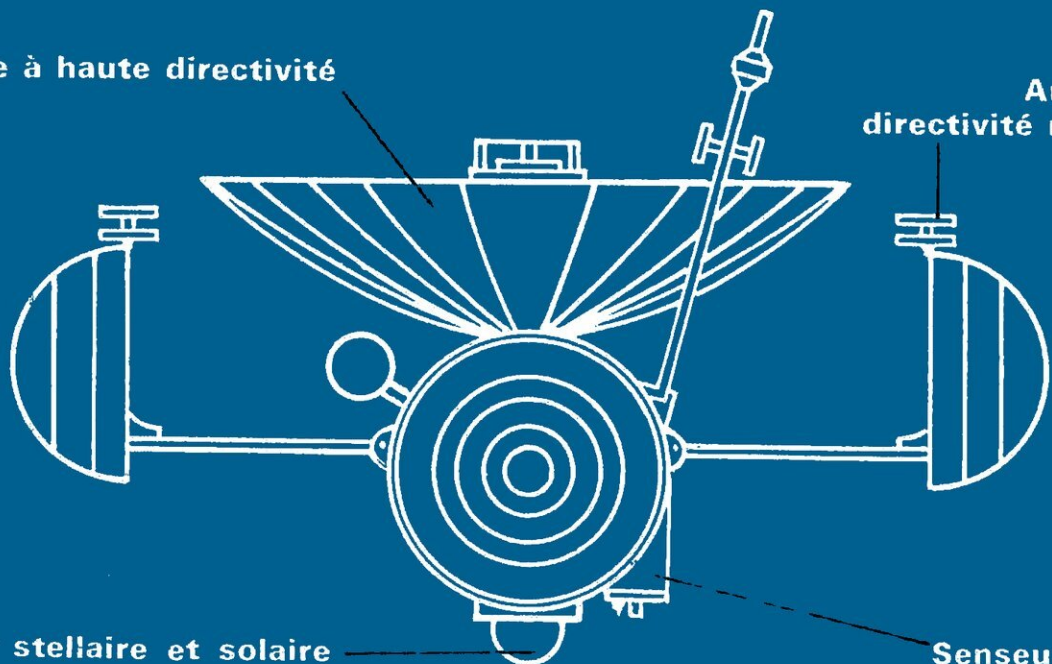
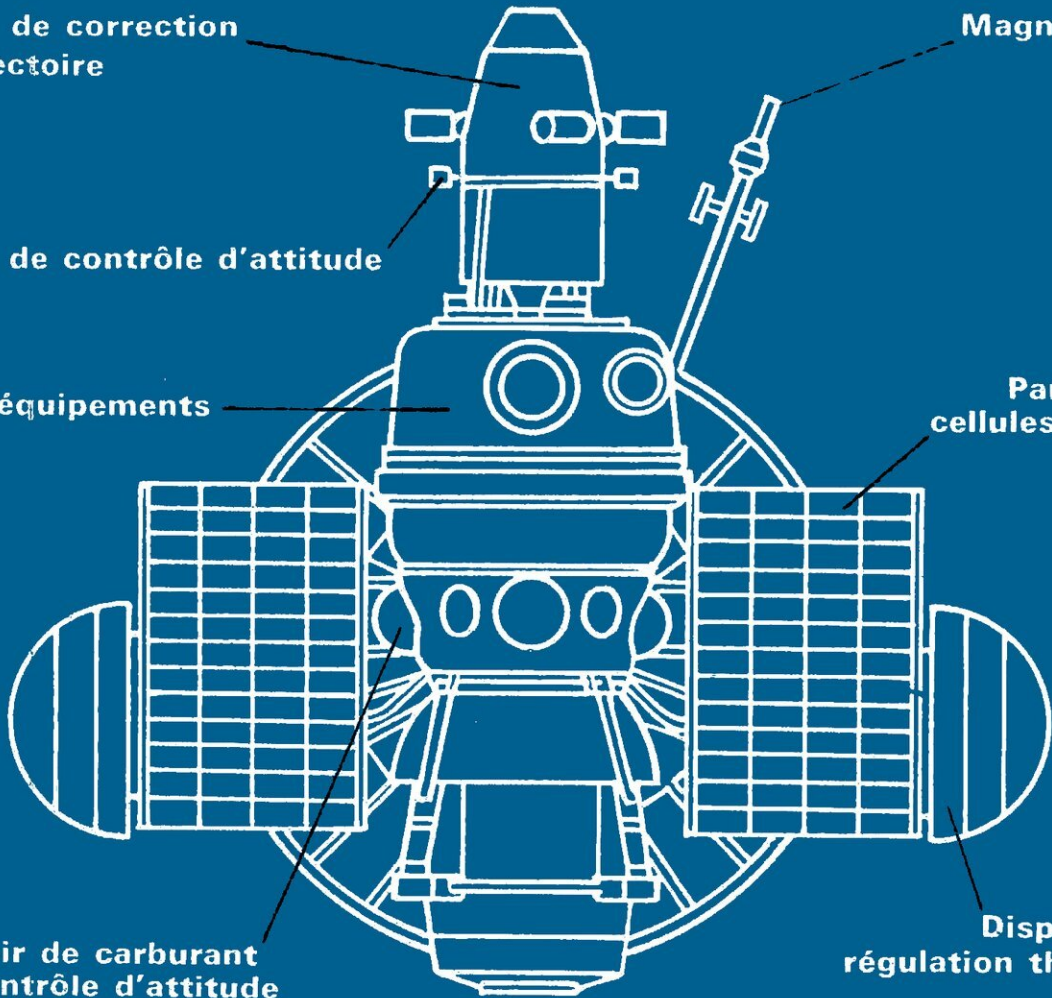
Dispositif de
régulation thermique

Antenne à haute directivité

Antenne à
directivité moyenne

Senseur stellaire et solaire

Senseur solaire



nik — fut accueilli avec enthousiasme par l'homme de la rue. D'une masse de 644 kg, Vénus I était la première sonde placée sur une trajectoire planétaire à partir d'une orbite de « parking », méthode beaucoup plus précise et économique que le simple tir direct. Ce lancement en deux temps comprenait, dans sa première phase, la mise sur orbite du Spoutnik VIII de 6 430 kg, puis la mise à feu de l'étage d'injection utilisant le satellite comme plate-forme de départ. Il s'agissait là d'une deuxième tentative, puisque Spoutnik VII, huit jours plus tôt, n'avait pu lancer le premier exemplaire de la sonde.

Mais l'enthousiasme soulevé par Vénus I devait bientôt retomber : le contact radio avec la sonde fut perdu le 27 février.

**Dates approximatives des
«fenêtres» utilisables pour
les tirs vers Mars et Vénus**

Années	Fenêtres		Activité solaire
	Mars	Vénus	
1964	Novembre	Mai	Soleil calme
1965		Décembre	
1966			
1967	Janvier	Juillet	
1968			
1969	Mars	Février	Activité maximale
1970		Septembre	
1971	Mai		
1972		Avril	
1973	Août	Novembre	
1974			Soleil calme
1975	Septembre	Juillet	
1976			
1977	Octobre	Février	
1978		Septembre	
1979	Novembre		Activité maximale
1980		Avril	
1981	Décembre	Octobre	
1982			
1983		Juillet	
1984	Février		Soleil calme
1985		Février	
1986	Mai	Août	
1987			
1988	Juillet	Avril	
1989		Novembre	Activité maximale
1990	Août		
1991		Juillet	
1992	Septembre	Février	
1993		Septembre	
1994	Octobre		Soleil calme
1995			
1996		Avril	
1997	Décembre	Octobre	
1998			
1999	Février	Mai	

Tout comme pour leurs engins martiens, les Soviétiques observèrent une longue pause : trois ans s'écoulèrent avant qu'un nouveau tir soit opéré vers Vénus. Cette fois, c'est une sonde technologique, Zond I, qui partit, le 2 avril 1964. Le silence fut de rigueur tout au long de la mission, et, à part la mention de deux corrections de mi-parcours, aucun communiqué officiel ne fit ultérieurement état de la sonde, qui dut passer au large de Vénus sans émettre.

Cette expérience fut suivie du lancement de Zond III qui, apparemment, ne visait aucune planète du système solaire, mais prit, au passage, des photos de la Lune qu'il retransmit ensuite inlassablement à titre expérimental.

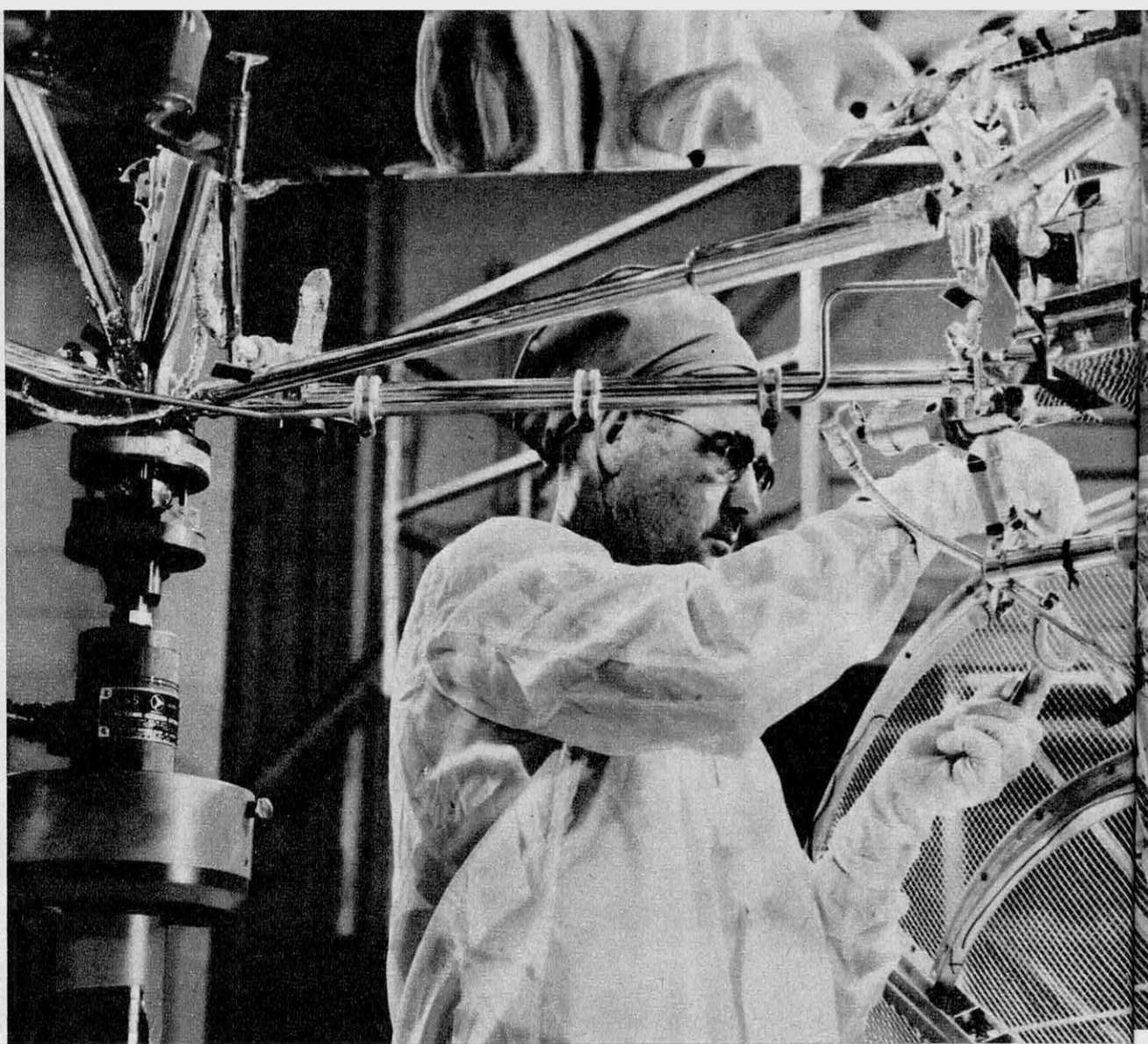
Le retour à la désignation Vénus se fit le 12 novembre 1965, avec le lancement de Vénus II de 893 kg, d'une conception très proche de celle de Mars I. Quatre jours plus tard, le 16 novembre, Vénus III partait à son tour. On s'attendait généralement à ce que les deux sondes passent chacune d'un côté de la planète, ou à ce qu'elles la photographient à quelques jours d'intervalle, afin d'en déterminer la période de rotation. Le 27 février, sans avoir eu besoin de la moindre correction de trajectoire, Vénus II passait à 24 000 km de Vénus. Le 1^{er} mars, à la stupefaction générale, les Soviétiques révélaient que Vénus III avait déposé les emblèmes de l'URSS sur la planète. Ces emblèmes étaient contenus dans une sphère de 90 cm de diamètre munie de parachutes.

Malheureusement, le monde scientifique devait vite perdre l'espoir de connaître enfin le « découpage » de l'atmosphère vénusienne : on apprenait que l'émetteur de la capsule était devenu silencieux peu après qu'elle eût abordé cette mystérieuse atmosphère. Par comble de malchance, on devait apprendre que Vénus II avait également perdu la voix en frôlant la planète.

Les Mariner vers Vénus

Les Américains effectuèrent leur première tentative vénusienne dès le 11 mars 1960 — un an avant Vénus I —, avec Pioneer V. A vrai dire, ils n'y croyaient guère eux-mêmes. Lancé avec une grande imprécision par une fusée Thor-Able, cet engin rudimentaire de 43 kg offrait une forte ressemblance avec le satellite « à palettes » Explorer VI.

Pioneer V visait avant tout à étudier l'espace interplanétaire et les communications à grandes distances. Ses émetteurs se turent à 36 millions de km de la Terre, record qui ne fut battu, par Mariner II, que deux ans et demi plus tard.



Le programme vénusien de la NASA fit ensuite appel à des sondes beaucoup plus évoluées, les Mariner, dotées des mêmes perfectionnements que Vénus I, mais pesant 200 kg seulement.

Le premier Mariner vénusien, lancé le 22 juillet 1962, n'alla guère loin ; son lanceur Atlas-Agena dévia de sa trajectoire, et fut volontairement détruit en vol 290 secondes après son départ.

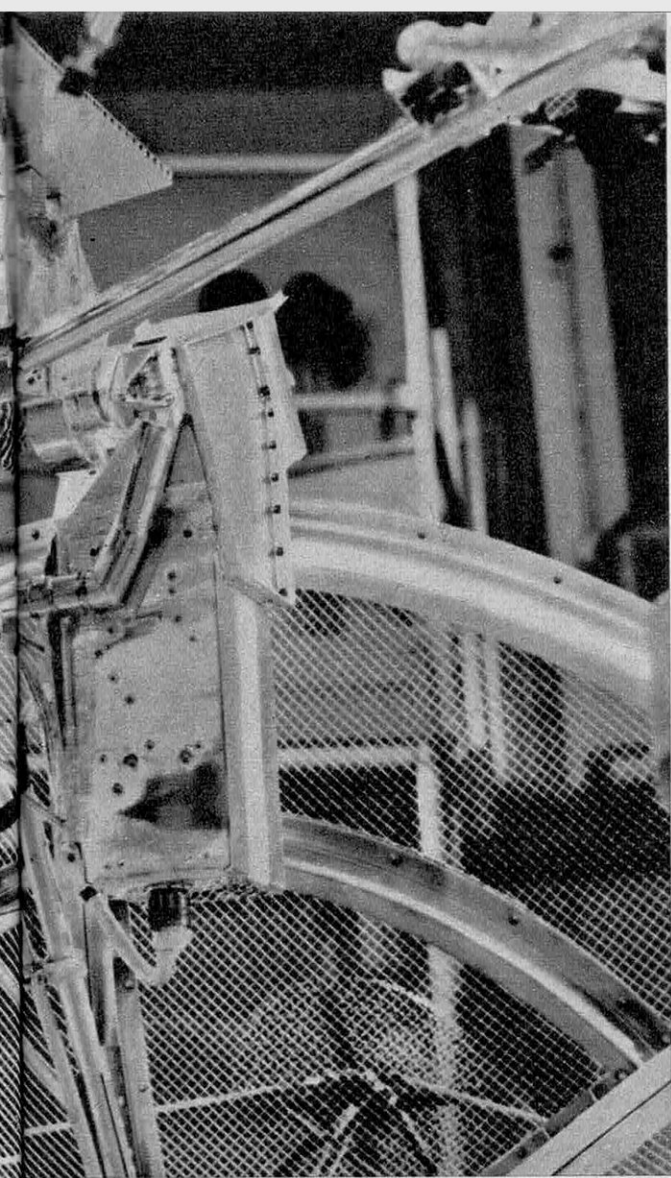
La leçon fut profitable et les modifications nécessaires effectuées sur l'Atlas destiné à Mariner II, lancé sans incident le 27 août suivant. L'erreur initiale de tir, qui aurait fait passer la sonde à 950 000 km de la planète, fut corrigée avec succès, et Mariner II passa le 24 décembre 1962 à 33 600 km de Vénus. Mais, jusqu'au dernier moment, l'angoisse ne fut pas épargnée aux techniciens du Jet Propulsion Laboratory, responsables de l'engin : dix heures avant le passage à proximité de l'astre, l'appareillage scientifique devait être activé par un signal

envoyé de la Terre. Mariner n'y répondit pas, pas plus qu'à un deuxième signal envoyé une heure plus tard. Il fallut attendre encore trois heures et demie pour que l'engin consente à répondre. Pour la première fois, un éclaireur de la Terre nous parlait d'une autre planète...

Le succès technique de Mariner II est une chose, la valeur des renseignements qu'il a fournis en est une autre. Comme nous l'avons vu plus haut, ces résultats sont très controversés, et il semble que bien des engins de ce type devront encore être envoyés vers Vénus avant que l'on puisse leur faire succéder des éclaireurs plus évolués.

Dans l'immédiat, la NASA compte lancer en 1967 la « doublure » de Mariner IV, qui, avec un passage à 3 000 km, permettrait d'obtenir de nouvelles données, et surtout des photographies de Vénus. Suivant les résultats obtenus, deux programmes différents sont envisagés :

— Un programme accéléré comprenant le



dant être conçue pour des gammes de température différentes.

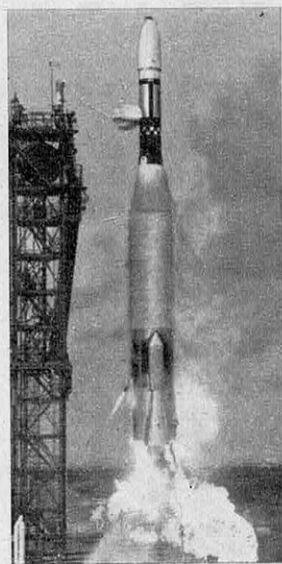
Si l'on se réfère encore au programme à option de la NASA, l'alternative « accélérée » comprendrait une mission Voyager dès 1975, et l'alternative « lente » ne la prévoirait que pour 1977.

Avant de songer à envoyer des astronautes sur Vénus, il va de soi que les conditions extrêmes régnant à sa surface demandent à être parfaitement connues. Le moins qu'on puisse dire est qu'elles ne faciliteront guère l'étude du matériel chargé de leur assurer un séjour relativement supportable.

◀ Peu avant le tir de Mariner II, un technicien adapte l'antenne à haut gain qui allait assurer la transmission au sol des données recueillies par la sonde.

Le lanceur Atlas-Agena (ci-contre) a été utilisé dans sa version B pour tirer Mariner II en direction de Vénus. ▶

Mariner II en position de tir; les panneaux de cellules photovoltaïques sont repliés. A la partie supérieure on voit l'antenne-radio omni-directionnelle.

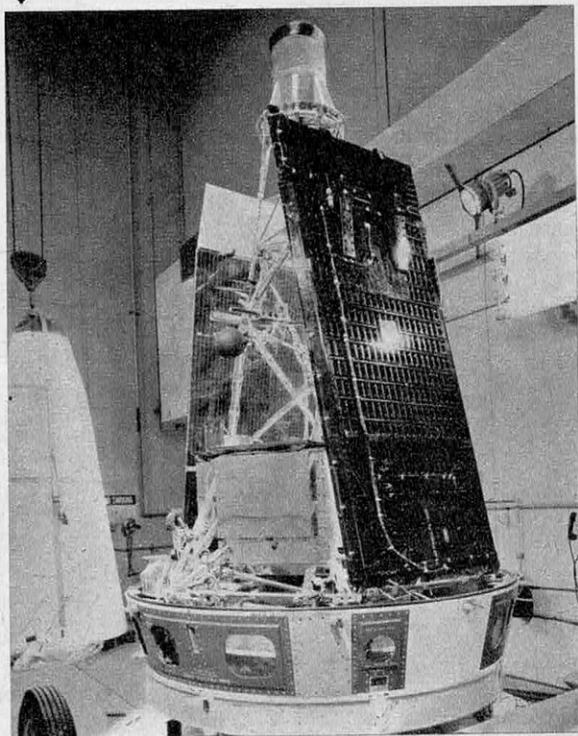


lancement de Mariner évolués en 1970, 1972 et 1973. D'un type semblable aux Mariner martiens prévus pour 1969 et 1971, ces sondes seraient lancées par des Atlas-Centaur, et largueraient à leur passage des capsules de rentrée pour l'étude de l'atmosphère.

— Un programme « ralenti » comprenant seulement le lancement de Mariner évolués en 1972 et 1975.

Avant l'homme : de nombreux « Voyager »

Il ne fait aucun doute que des engins du type Voyager pourraient tout aussi bien convenir pour des missions vénusiennes. Seule serait modifiée la conception du module planétaire, puisqu'il aurait à s'accommoder d'une atmosphère beaucoup plus dense. Les parachutes retrouveront leur efficacité et la capsule instrumentale pourrait atterrir à une vitesse très faible. Elle devrait cepen-



Comme, d'autre part, les expéditions martiennes se verront probablement accorder la priorité jusqu'à une date avancée des années 80, notre planète-sœur dispose encore de quelques années pour se préparer à notre visite...

Jusqu'aux limites du système solaire

Avant d'aborder les étoiles, l'homme aura fort à faire pour explorer le système solaire tout entier. Après Mars et Vénus, peut-être s'attaquera-t-il à Mercure, la planète la plus proche du Soleil (57,9 millions de km en moyenne). Plus encore que sur Vénus, il aura à se défier des températures : Mercure tournant toujours la même face au Soleil, cette face éclairée constitue un véritable « four », et la face qui reste dans l'ombre pourrait ne connaître une atmosphère que sous forme solide. Le vaisseau devrait alors se poser dans une zone intermédiaire plus clémente.

Mais il est plus probable que les Terriens chercheront à atteindre d'abord Jupiter, la plus grosse planète du système solaire, à 779 millions de km du Soleil. Jupiter est dotée d'une atmosphère très dense, couverte de nuages étagés en bandes parallèles, et dont le seul phénomène permanent est la « tache rouge », que les astronomes ne peuvent encore expliquer, et qui est le siège d'une intense activité radioélectrique.

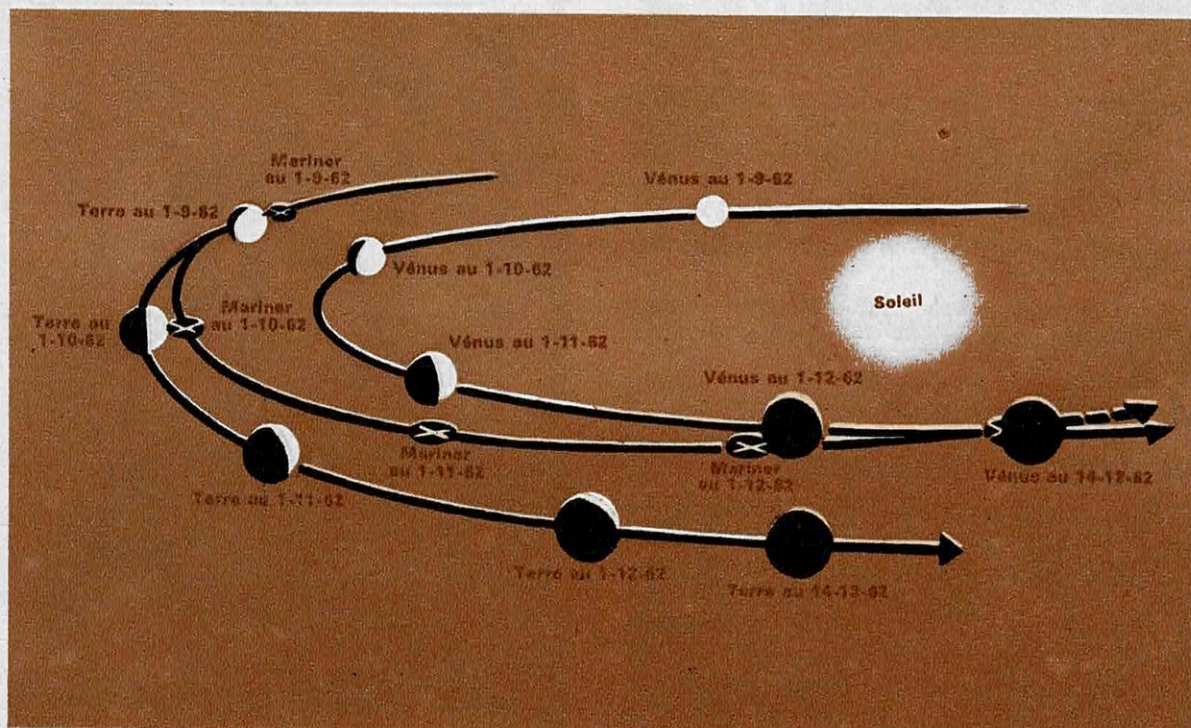
En nous éloignant à 1 430 millions de km du Soleil, nous arrivons ensuite à Saturne, planète qui présente de grandes ressemblances avec Jupiter, mais dont la curiosité principale réside dans les « anneaux » constitués de fragments solides qui sont autant de satellites indépendants. Le plus gros satellite de Saturne, Titan, ferait une planète très respectable, avec ses 5 700 km de diamètre.

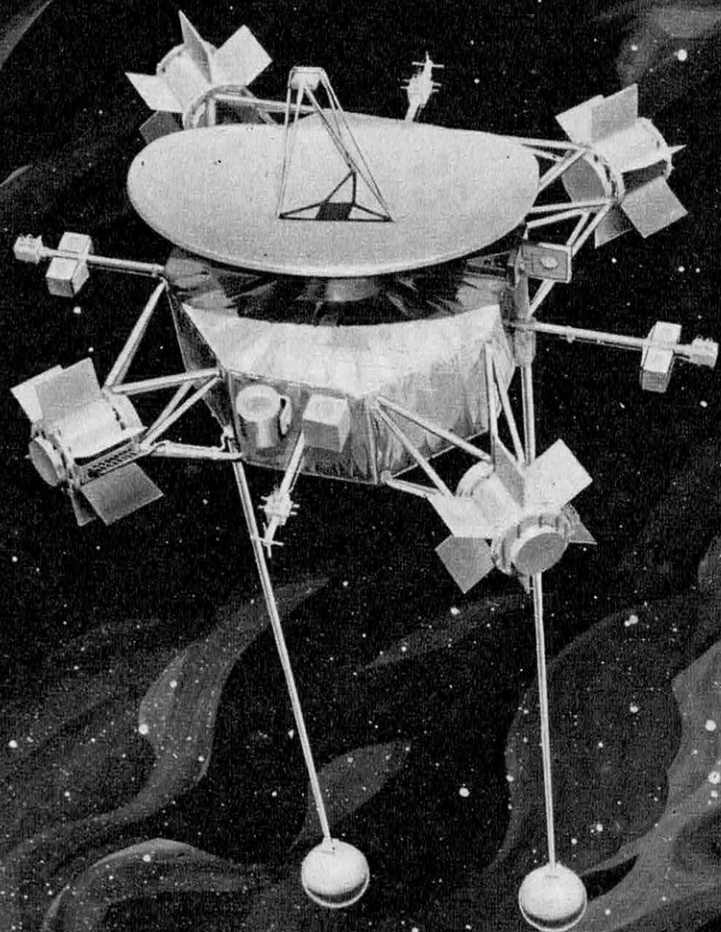
Encore plus loin, respectivement à 2 870 et 4 500 millions de km du Soleil, viennent les deux « sœurs » du système solaire, Uranus et Neptune, dont l'aspect rappelle également Jupiter. Tout comme Jupiter, d'ailleurs, Uranus présente un phénomène permanent : sa ceinture équatoriale blanche. La densité de l'atmosphère de ces planètes pourrait être telle qu'elle se présente sous forme liquide à la surface.

Enfin, nous arrivons aux confins du système solaire avec Pluton, la dernière planète que l'on connaisse actuellement. Son orbite, dont la distance moyenne au Soleil est de 5 900 millions de km, présente une telle excentricité que de 1969 à 2009, elle se trouverait entièrement à l'intérieur de celle de Neptune, n'étaient les inclinaisons très différentes de ces orbites sur l'écliptique. L'éloignement

En 109 jours, Mariner II a parcouru près de 300 millions de kilomètres pour atteindre Vénus. On a représenté

ici schématiquement la trajectoire ; en fait, une correction avait été opérée par la N.A.S.A. le 4 septembre 1962.





Destiné à l'exploration de Jupiter, ce projet Voyager de General Dynamic comporte quatre générateurs isotopiques (garnis d'ai-

lettes de refroidissement) et une antenne à haut gain. Un magnétomètre et un piège à ions sont placés à la partie inférieure.

de Pluton ne facilite d'ailleurs pas l'observation : si l'on s'en tient aux 6 500 km attribués à son diamètre, sa densité serait plusieurs centaines de fois plus élevée que celle de l'eau, ce qui semble impossible.

En dehors de ces planètes, il est d'autres corps célestes à l'intérieur du système solaire que l'homme pourrait visiter un jour en personne, ou par procuration. C'est le cas des astéroïdes, ces « mini-planètes » d'un diamètre moyen de 30 km, qui gravitent sur des orbites situées entre celles de Mars et de Jupiter. C'est aussi le cas des comètes, dont des sondes spatiales pourraient traverser la « queue » afin d'en déterminer la composition demeurée jusqu'ici controversée.

La visite de tous ces corps célestes n'est pas si éloignée qu'on pourrait le supposer : dès 1976, une sonde du type Mariner sera dirigée vers la comète d'Arrest, en attendant de viser la comète d'Halley, en 1985.

Quant aux planètes, il n'est pas encore question de s'y poser. En vue de leur survol, la NASA envisage d'ores et déjà l'étude d'une nouvelle sonde spatiale, « APP » (*Advanced Planetary Probe*), basée sur la technologie des tout derniers Pioneer, et des Mariner. Ce programme, qui pourrait être mené avec la participation de l'Europe, verrait un survol de Jupiter en 1972, et un autre en 1975. Lors des missions suivantes, en 1977 et 1979, on utiliserait l'attraction d'une planète pour accélérer la sonde et la diriger vers une autre planète, et ainsi de suite. A chacune des missions, l'« APP » survolerait successivement Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. On croit rêver !

Patrick MAUREL

LIBRAIRIE

SCIENCE ET VIE

24, Rue Chauchat, Paris 9^e - Tél. TAI 72 86

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. Prix F 5,00

ASTRONOMIE GÉNÉRALE

ASTRONOMIE. (Encyclopédie de la Pléiade). Publiée sous la direction de Schatzman E. — L'astronomie et l'homme. Institutions et documentation : l'Union Astronomique Internationale. Astronomie théorique. Astrométrie. Astrophysique. Astrophysique théorique. Astronomie stellaire. Radio-astronomie. Le soleil. Le système solaire. Cosmogonie et cosmologie. Astronautique. Optique astronomique, télescopes et observatoires. Géodésie. — 1 834 p. 10,5 x 17, papier bible, 330 cartes, schémas, tabl. et illustr. Reliure souple plein cuir. 1962 F 62,00

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, 1955 (avec mise à jour 1960 de Danjon A.) F 78,00

L'ASTRONOMIE. — Hoyle F. — Traduit de l'anglais. La terre et le ciel. Les instruments astronomiques. Les mouvements des planètes et l'astronomie ancienne. Copernic et Kepler. La théorie de la gravitation. L'époque post-newtonienne. Les instruments de la nature et de la lumière. Naissance de l'astronomie moderne. Les étoiles : réacteurs thermonucléaires. Structure de notre galaxie. La galaxie et l'univers en expansion. Appendice. — 320 p. 21 x 27,5. 400 documents noir et couleurs, croquis, diagrammes, cartes du ciel. Relié toile 1963 F 57,00

L'ASTRONOMIE MODERNE. — Tocquet R. — Les grandes étapes et les grands noms de l'astronomie. Aspect général du système solaire : notions de mécanique céleste ; la relativité. La Terre, notre patrie. L'exploration du ciel. La Lune. Le Soleil. Les éclipses de lune et de soleil ; les marées. Mercure et Vénus, Mars, la planète mystérieuse. Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et Pluton. Les astéroïdes, les comètes et les météorites. Les étoiles et la matière inter-stellaire. Nébuleuses et galaxies. L'observation du ciel sans télescope. Le rayonnement cosmique. Les émissions radio-électriques dans l'univers. Influences cosmiques. Origine et formation des mondes. Notions d'astronautique. La vie dans l'univers. — 600 p. 18 x 20, 50 fig., 120 photos. Relié toile, 1965 F 50,00

ENCYCLOPÉDIE DE L'UNIVERS. — De Vries T. et Ernst B. — Atlas du ciel. — 104 p. sur papier couché, 224 photos et dessins, donnant une synthèse de la composition de l'univers et des moyens dont dispose l'homme pour y pénétrer. Encyclopédie alphabétique. — 126 p., 9 cartes d'étoiles et de dessins explicatifs. Un grand nombre de sujets y sont traités : rayonnements cosmiques, possibilités de vie dans l'espace, science radioastronomique, etc. — Un volume format 20 x 27, relié, 1960 F 35,00

ASTRONOMIE FONDAMENTALE ÉLÉMENTAIRE. — Kourganoff V. — Rappels de cosmographie. Formules fondamentales de trigonométrie sphérique. Mouvement apparent du soleil ; temps moyen. Parallaxe annuelle ; aberration ; réfraction astronomique. Gravitation universelle. — 106 p. 16,5 x 24,5, 91 fig., 1961 F 18,00

L'UNIVERS (Life. Coll. « Le Monde Vivant »). — Bergamini D. — Mythes et idées fausses. En explorant l'univers. Planètes, météorites et comètes. Biographie du Soleil. Notre galaxie. Naissance et mort des étoiles. Par-

delà la Voie Lactée. L'espace, le temps et l'Univers. — 192 p. 21 x 27, 128 illustr. en noir et 64 en couleurs. Cartonné, 1964 F 25,00

GUIDE DE L'ASTRONOME AMATEUR. Godillon D. — Après la révision de notions élémentaires, le lecteur trouvera près de 200 pages sur la construction, le réglage et l'utilisation des instruments, de la petite lunette à l'observatoire complet. Une troisième partie traite de l'astronomie, mettant à la portée de tous les dernières découvertes et en indiquant, dans chaque cas, la technique à employer et les observations accessibles selon l'importance de l'instrument. — Notions élémentaires. Les instruments de l'amateur. Le système solaire. Les étoiles. La galaxie. Les galaxies et l'univers en expansion. 608 p. 18 x 25. 330 fig. Un calendrier de l'observateur contenant coordonnées et caractéristiques de plus de 600 objets (étoiles doubles, étoiles variables, amas et nébuleuses). Une carte de la Lune en dépliant. Relié, 1967. F 66,00

ASTROPHYSIQUE. — Schatzman E. — Objet de l'astrophysique. Photométrie. Les spectres stellaires ; méthode empirique de classification. Distance des étoiles. Le Soleil. Étoiles doubles. Étoiles variables. Répartition des étoiles dans l'espace. Les mouvements des étoiles. La matière inter-stellaire. Nébuleuses extra-galactiques. Le système solaire et les planètes. — 150 p. 16 x 24. 75 fig. 1963. F 29,00

RADIOASTRONOMIE. Les méthodes radioélectriques au service de l'Astrophysique. — Steinberg J.-L. et Lequeux J. — Le rôle de l'atmosphère. Le rayonnement thermique. Les radiotélescopes simples. Interféromètres et antennes synthétiques. Les observations spectrales. Les mécanismes d'émission des ondes radioélectriques. L'émission radioélectrique du Soleil. Les émissions radioélectriques dans le système solaire. Le rayonnement radioélectrique de la Galaxie. Les radiosources galactiques. Les radiosources extragalactiques. — 296 p. 14 x 22, 155 fig., 1960 F 19,00

REVUE DES CONSTELLATIONS. — Sagot R. et Texereau J. — Ce guide détaillé et soigneusement mis à jour, qu'attendaient les observateurs, fournit des renseignements numériques et pratiques ainsi que des résultats d'observations faites avec des instruments d'amateurs pour environ 1 600 objets célestes choisis parmi les plus intéressants. La sélection présentée comprend 200 étoiles variables, 500 étoiles doubles, 250 amas, 600 nébuleuses, etc. Des index détaillés placés au début du volume permettent de retrouver rapidement les diverses constellations et les étoiles doubles, amas et nébuleuses classés par numéros de catalogue. Une introduction très développée donne le mode d'emploi de cet important outil de travail et des conseils pratiques pour l'observation astronomique. Index des constellations. Index des étoiles doubles. Index des amas et nébuleuses. Abréviations et symboles. Introduction : Le catalogue, les observations, les cartes, notes pratiques d'observation. Bibliographie. Liste des observateurs. Les constellations (91 articles). 336 p. 16 x 24. Un index de 4 pages. Atlas de 42 cartes montées sur onglets. Relié toile, 1964 F 48,00

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, 2^e édit., 1963 F 60,00

ATLAS DE LA LUNE. — Callatay (V. de) : **Éléments d'astronomie. Mouvements et nature de la Lune.** — La satellite et ses lois fondamentales. Révolution de la Lune autour de la Terre. Les phases de la Lune. Distance, superficie et masse de la Lune. Rotation de la Lune sur elle-même. Trajectoire apparente de la Lune. Mécanisme des éclipses. Éclipses de Lune. Éclipses de Soleil. Les marées. Description du relief lunaire. Structure du sol lunaire. Origine des formations lunaires. L'atmosphère lunaire. Les deux faces de la Lune. La forme du sélénioïde. — **Atlas :** Atlas photographique comportant 22 doubles pages illustrées de 86 photographies : cartes en pleine page, cartes de localisation, cartes de dénomination des formations lunaires et cartes de détails des formations remarquables. Description de ces formations. Carte provisoire de l'autre face de la Lune. Index alphabétique général des formations avec référence aux cartes et origine des dénominations. — **Astronautique :** Trajectoires extra-terrestres. Les fusées. La vie à bord d'une fusée. Les étapes du voyage. — 160 p. 23,5 x 32. 66 fig. et croquis. 146 photos. Relié toile, 1962 F 60,00

ASTRONAUTIQUE

FUSÉES ET ASTRONAUTIQUE. — Rougeron C. et Bodet J. et de nombreux collaborateurs. — La fusée : déclin et renaissance. Propulsion par fusée. La fusée à poudre. La fusée à liquides. Les avions-fusées. Guidage des engins. Les missiles. Engins balistiques et semi-balistiques. Engins anti-engins. Engins et guerre nucléaire. Fusées et satellites artificiels. Navigation spatiale. Satellites scientifiques. Satellites de télécommunications. Fusées et satellites météorologiques. Satellites militaires. Conditions physiques dans l'espace. Les systèmes nouveaux de propulsion spatiale. Vers la lune et les planètes. 416 p. 16,5 x 23. 450 illustr. en noir. 16 pl. en couleurs. Tableau des lancements de satellites et de sondes spatiales. Index. Relié toile, 1965. ... F 47,50

ASTRONAUTIQUE ET RECHERCHE SPATIALE. (Publié sous les auspices du Centre national d'études spatiales et de la Société française d'astronautique.) Moureu H. et Bernard M. Y. — **Astronomie et physique du globe :** Astronomie. L'environnement terrestre. Le véhicule spatial et les moyens d'essais : Propulsion spatiale. Traversée des atmosphères. Énergie de servitude à bord des véhicules spatiaux. Les montages radioélectriques dans les véhicules spatiaux. Transmission de l'information. Guidage des engins et des véhicules spatiaux. La stabilisation des satellites. **Exploitation des véhicules spatiaux :** La recherche spatiale, objectifs et moyens. Applications des satellites. L'homme dans l'espace. 328 p. 16 x 25, 140 fig. 1964 F 28,00

DICTIONNAIRE DE L'ASTRONAUTIQUE. T. de Galiana. — Tous les termes d'astronautique. Tous les renseignements encyclopédiques sur le matériel (fusées, satellites, plates-formes), sur les hommes (précurseurs, savants, astronautes), sur les techniques (propulsion, trajectoire, vitesse), sur les données scientifiques fondamentales (atmosphère, espace, planètes, radiations, aérodynamique, apesanteur, champ magnétique, météorologie). — 320 p. 12,5 x 17,5. 208 fig., tabl. et graphiques. 1964 F 9,90

LE VOL DANS L'ESPACE. Systèmes de propulsion. Corliss W.R. — Traduit de l'américain par Fabri J. et Le Grivès E. — Performances de systèmes propulsifs et missions spatiales. Ambiance spatiale. Sources d'énergie dans l'espace. Systèmes propulsifs thermiques. Systèmes de propulsion électrique. Générateurs à particules nucléaires. Systèmes de propulsion photonique. Systèmes propulsifs utilisant des champs de forces naturels. Récapitulation et performances. 344 p. 16 x 25. 149 fig. Relié toile. 1963 F 66,00

PRINCIPES DU VOL BALISTIQUE ET SPATIAL. — Salmon M. — Relations fondamentales. Les engins balistiques. Les satellites artificiels. Sphère d'action des satellites. De la terre à la Lune. Voyages interplanétaires. Problèmes de départ. Problèmes de rentrée. — 192 p. 16 x 25, 79 fig., nbr. tabl. relié, 1962 F 29,00

PILOTAGE DES MISSILES ET DES VÉHICULES SPATIAUX. Lazennec H. — Les moyens d'action. Considérations élémentaires sur la mécanique du missile. Première approximation de la boucle de pilotage. Mouve-

ment d'un missile à tuyère oscillante. Couplages entre axes-pilotage en roulis. Les détecteurs; l'élaboration des ordres. Les servo-moteurs. Influence de la flexion du missile sur le pilotage. Influence du balottement des liquides sur le pilotage. Les perturbations dans l'ambiance spatiale. Stabilisation passive des véhicules spatiaux. Pilotage des satellites. 236 p. 16 x 25. 93 fig. Relié toile, 1966 F 58,00

LA PROPULSION PAR FUSÉES (Barrère M., Jau-motte A., Fraeys de Veubeke B. et Vendenkerckhove 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 fusées. 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 F 79,00

FUSÉES FRANÇAISES POUR LA RECHERCHE SPATIALE. — Centre National d'Études spatiales. — Laboratoire de Recherches balistiques et aérodynamiques : Véronique A.G.1, Véronique 61, Vesta. Société pour l'étude et la réalisation d'engins balistiques : Agate, Émeraude, Saphir, Rubis, Diamant. Sud-Aviation : Charge utile, Bélier, Centaure, Dragon, Éridan. Office national d'études et de recherches aérospatiales : Télémessure. Trajectographie. Télécommande de destruction. Bérénice. Société engins Matra : Fusée météorologique Emma. 116 p. 15 x 25, 50 fig. 1964 F 18,00

L'ASTRONAUTIQUE. (Coll. « Le Rayon de la Science » N° 13). — Lachnitt J. — Une longue suite de générations. Les voyages interplanétaires. La fusée, propulseur de l'espace. Les satellites artificiels. Médecine spatiale. Guidage et télécommunication. Les propulseurs nouveaux. Plus qu'aucune autre science... Annexes. 192 p. 12 x 18. Tr. nombr. illustr., 1962 F 6,00

TÉLÉCOMMANDE ET TÉLÉMESURE RADIO appliquées aux engins spatiaux. — Marcus J. — Généralités. Les différents types de modulation. Notions d'information, et de codage. Les limitations de l'information. Champ, propagation et aériens sur engins spatiaux. Liaisons radio pour dispositifs de télécommande et de télémessure considérés comme systèmes multiplex. Guidage des engins par télécommande radio. Les dispositifs de télémessure radio. Annexe : Standard de télémessure. — 280 p. 16 x 25, 190 fig., 11 tabl., 8 photos, cartonné, 1962 F 48,00

LE GUIDAGE DES FUSÉES. (Coll. « Bilan de la Science » N° 8). Mignot N. — D'Hiroshima à l'énergie balistique. Télécommande. Autoguidage et têtes chercheuses. L'engin balistique et l'équilibre de la terreur. Guidage de l'engin balistique. Conclusion. 144 p. 11 x 21. 77 fig. et photos, 1963 F 7,00

EN FUSÉE VERS LA LUNE. — Levantovski V. — Traduit du russe par Bir Ch. La fusée, moyen de voler dans le Cosmos. Mouvement des corps dans le champ de gravitation central. La lune dans la sphère d'influence de la terre. Trajectoires assurant l'impact sur la lune. Différents types des trajectoires de vol vers la lune. Le satellite artificiel de la lune. Les étapes du vol vers la lune. Les vols vers la lune dans les projets et dans la réalité. Étude de la lune et de l'espace cosmique. Vols interplanétaires. Annexe. 460 p. 13 x 20, 146 fig., 19 photos hors-texte. Relié toile. 1963 F 8,50

L'HOMME DANS L'ESPACE. (Les engins spatiaux de seconde génération). — Ducrocq A. — Après la victoire sur l'espace. Les satellites techniques. Les processus de la récupération. La technique des Discoverers. Les premiers vaisseaux cosmiques. 12 avril 1961 : Le voyage de Gagarine. Les transferts spatiaux. Recherche opérationnelle astronautique. Orbites lunaires. Les corrections de trajectoires : le guidage spatial. Vénusik. Les techniques de navigation. Le contact avec les autres mondes. Programmes Ranger et Khlebtzevitch. Vers le train spatial. — 320 p. 14 x 20, 21 fig., 1961 F 15,00

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

recupération. 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 F 12,00

PLATE-FORME POUR LE COSMOS. — Ducrocq A. — De Titov à Nicolaïev. L'astronautique va prendre un nouveau visage. Ceinturer les astres. La grande échéance. La lune à la veille de sa conquête. Le monde de Vénus. La planète Mars. Utilisation des atmosphères planétaires. Les propulseurs spatiaux de demain. Temps et sécurité. Le problème des radiations. Perspectives de la spatio-biologie. Index spatial. Note complémentaire : vitesse d'éjection et impulsion spécifique. 384 p. 14 x 20, 50 fig., 11 photos. 24 tabl. Nlle édit., 1963 F 18,00

LES MYSTÈRES DE L'ESPACE

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. La 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 F 9,00

LA CONNAISSANCE DE L'UNIVERS. (Coll. « Le Rayon de la science » N° 11). Charon Jean E. — Introduction à l'idée de connaissance. Alice au pays de l'Univers. Structure d'ensemble de l'Univers. Structure microscopique de l'Univers. Les théories unitaires de l'Univers. La vie dans l'Univers. Le psychisme dans l'Univers. Évolution de l'Univers. Remarques finales. Lexique. — 192 p. 12 x 18, nombr. figures et photos. 1961 F 6,00

NOUS NE SOMMES PAS SEULS DANS L'UNIVERS. A la recherche de vie intelligente dans d'autres mondes. (Coll. « Le Monde qui se fait »). Sullivan W. — Traduit de l'américain par Lessert C. — L'ordre du Dauphin. Des sphères à l'intérieur des sphères. Renouveau de la science. Notre univers est-il unique? Le système solaire : exception ou règle. L'énigme des étoiles « lentes ». Où chercher? Création ou évolution? La construction des molécules. Visiteurs de l'espace. « Wax » et « Wiglers ». La vie existe-t-elle sur Mars? La seule possibilité rationnelle. Le projet Ozma. D'autres canaux. Peuvent-ils venir nous voir? Y a-t-il une vie intelligente sur la Terre? Syntaxe

céleste. Et... en cas de réussite. 344 p. 15,5 x 24. Nbr. fig. et cartes. 16 photos hors-texte. 1966. F 20,40

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 F 6,80

LA VIE SUR LES PLANÈTES. (Coll. « Le Rayon de la Science » N° 4). — Tocquet R. — Le silence des espaces infinis. Origine de la vie. Conditions de la vie. La vie sur la Lune et sur les planètes inférieures. La vie sur Mars. La vie sur les planètes supérieures. La vie dans l'Univers. Petit guide de l'Univers. 192 p. 12 x 18. Nombr. fig. et photos. 1960 F 6,00

LA VIE DANS L'UNIVERS (Petite Bibliothèque Payot n° 64). — Ovenden M. — Traduit de l'anglais par Métadier J. — La vie et l'Univers. La Terre, séjour de la vie. Le système solaire. La planète Mars. Y a-t-il d'autres systèmes planétaires? Qu'est-ce que la vie? Les molécules et la vie. L'évolution de la vie sur la Terre. Le pouvoir d'adaptation de la vie. La vie sur d'autres planètes. La chimie de l'Univers. L'évolution de l'Univers. — 160 p. 11 x 18, 23 fig., 1964 F 3,60

A PROPOS DES SOUCOUPES VOLANTES (Mystérieux Objets Célestes). Aimé Michel. — La plus fermée de toutes les communautés est actuellement celle des hommes de science qui étudient les soucoupes volantes. Il y a parmi eux des physiciens, des astronomes, des biologistes célèbres, des directeurs de grands observatoires ou laboratoires, des techniciens de l'espace, et cela dans les principaux pays du monde, surtout aux États-Unis, en France, en Angleterre et en Russie. Pour pouvoir travailler en paix, la grande majorité de ces savants ont choisi la clandestinité. Ils n'échangent leurs idées et leurs résultats qu'entre eux. Ils forment un réseau mondial au sein duquel circulent toutes les informations concernant ce mystérieux problème. — Aimé Michel est l'un des créateurs connus de ce réseau et son livre en est l'un des fondements. — Cette nouvelle édition très augmentée fait le point du problème des soucoupes volantes en 1966. 304 p. 15 x 20, 1966 F 18,50

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 chèque bancaire ou 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 F 1,10). Envoi recommandé : France : F 1,00, étranger : F 2,00.

Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, PARIS (9^e)

La Librairie est ouverte de 8 h 30 à 12 h 30 et de 14 h à 18 h 30. Fermeture du samedi 12 h 30 au lundi 14 h.

UNE DOCUMENTATION INDISPENSABLE CATALOGUE GÉNÉRAL

(10^e édition 1966), 5 000 titres d'ouvrages techniques et scientifiques publiés par 150 éditeurs différents sélectionnés et classés par sujets en 36 chapitres et 150 rubriques. 524 pages, 13,5 x 21. (Poids : 500 g). Prix Franco F 5,00

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

24, rue Chauchat, Paris-IX^e - Tél.: TAI. 72-86 - C.C.P. Paris 4129-26

**Je n'ai
qu'un
regret**

c'est de n'avoir pas connu plus tôt

L'ÉCOLE UNIVERSELLE

59, boulevard Exelmans - Paris 16^e

nous écrivent des centaines d'élèves enthousiastes. Ainsi rendent-ils hommage au **prestigieux enseignement par correspondance** de la plus importante école du monde, qui vous permet de faire chez vous, en toute résidence, à tout âge, aux moindres frais, des études complètes dans toutes les branches, de vaincre avec une aisance surprenante les difficultés qui vous ont jusqu'à présent arrêté, de conquérir en un temps record le diplôme ou la situation dont vous rêvez.

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

- TC 566 **Toutes les classes, tous les examens** : du cours préparatoire aux classes terminales, C.E.P., C.E.G., B.E., E.N., B.S.C., C.A.P., B.E.P.C., Bourses, Baccalauréats ; **Cl. des Lycées Techniques** : B.E.I., B.E.C.
- ED 566 **Etudes de Droit** : Capacité, Licence, Carrières juridiques.
- ES 566 **Etudes supérieures de Sciences** : D.U.E.S., C.E.S., C.A.P.E.S., Agrég. de Math. - **Médecine** : C.P.E.M. 1^{re} et 2^e année.
- EL 566 **Etudes supérieures de Lettres** : D.U.E.L., Licence, C.A.P.E.S., Agrégation.
- GE 566 **Grandes Ecoles, Ecoles Spéciales** : E.N.S.I., Militaires, Agriculture, Commerce, Beaux-Arts, Administration, Lycées Techniques d'Etat, Enseignement. (Précisez l'Ecole.)
- AG 566 **Carrières de l'Agriculture** (France et Rép. afric.) : Industries agricoles, Génie Rural, Radiesthésie, Topographie.
- CT 566 **Carrières de l'Industrie, du Bâtiment et des Travaux Publics** : toutes spécialités, tous examens.
- DI 566 **Carrières du Dessin Industriel** : C.A.P., B.P.
- MV 566 **Carrières du Métier** : Métreur, Métreur-vérificateur.
- LE 566 **Carrières de l'Électronique et de l'Électricité**.
- EC 566 **Carrières de la Comptabilité** : C.A.P., B.P., D.E.C.S., Certif. de Révision Comptable, Expertise, Préparations libres.
- CC 566 **Carrières du Commerce** : Employé de Bureau, de Banque, Sténodactylo, Publicité, Assurances, Hôtellerie, Mécanographie, Programmation.
- FP 566 **Pour devenir Fonctionnaire**.
- ER 566 **Tous les Emplois Réservés**.
- OR 566 **Orthographe, Rédaction, Calcul, Dessin, Ecriture, Conversation, Graphologie**.
- NM 566 **Carrières de la Marine Marchande et Nationale**.
- CA 566 **Carrières de l'Aviation** : Ecoles et Carrières militaires, Industrie aéronautique, Hôtesse de l'air.
- RT 566 **Radio, Télévision, Transistors**.
- LV 566 **Langues Vivantes** : Anglais, Allemand, Espagnol, Italien, Russe, Chinois, Arabe, Espéranto - **Chambres de Commerce étrangères - Tourisme - Interprétariat**.
- EM 566 **Etudes Musicales** : Solfège, Guitare classique, électrique, et tous instruments.
- DP 566 **Arts du Dessin** : Cours Universel, Illustration, Mode, Aquarelle, Peinture, etc.
- CO 566 **Carrières de la Couture, de la Mode, de la Coupé et de la Lingerie**.
- CS 566 **Carrières du Secrétariat** : de Direction, Bilingüe, de Médecin, d'Avocat, d'Homme de Lettres, Secrétariats Techniques - **Journalisme**.
- CI 566 **Cinéma** : Technique Générale, Scénario, Décor, Prise de vues, de son, Projection, I.D.H.E.C., Cinéma 8 et 16 mm - **Photographie**.
- CB 566 **Coiffure - Soins de Beauté**, C.A.P. d'Esthéticienne (Stages pratiques gratuits à Paris) - Manucurie, Parfumerie.
- CF 566 **Toutes les Carrières Féminines** : sociales, paramédicales, commerciales et artistiques.
- PC 566 **Cultura** : Perfectionnement culturel - **Universa** : Préparation aux études supérieures.

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.

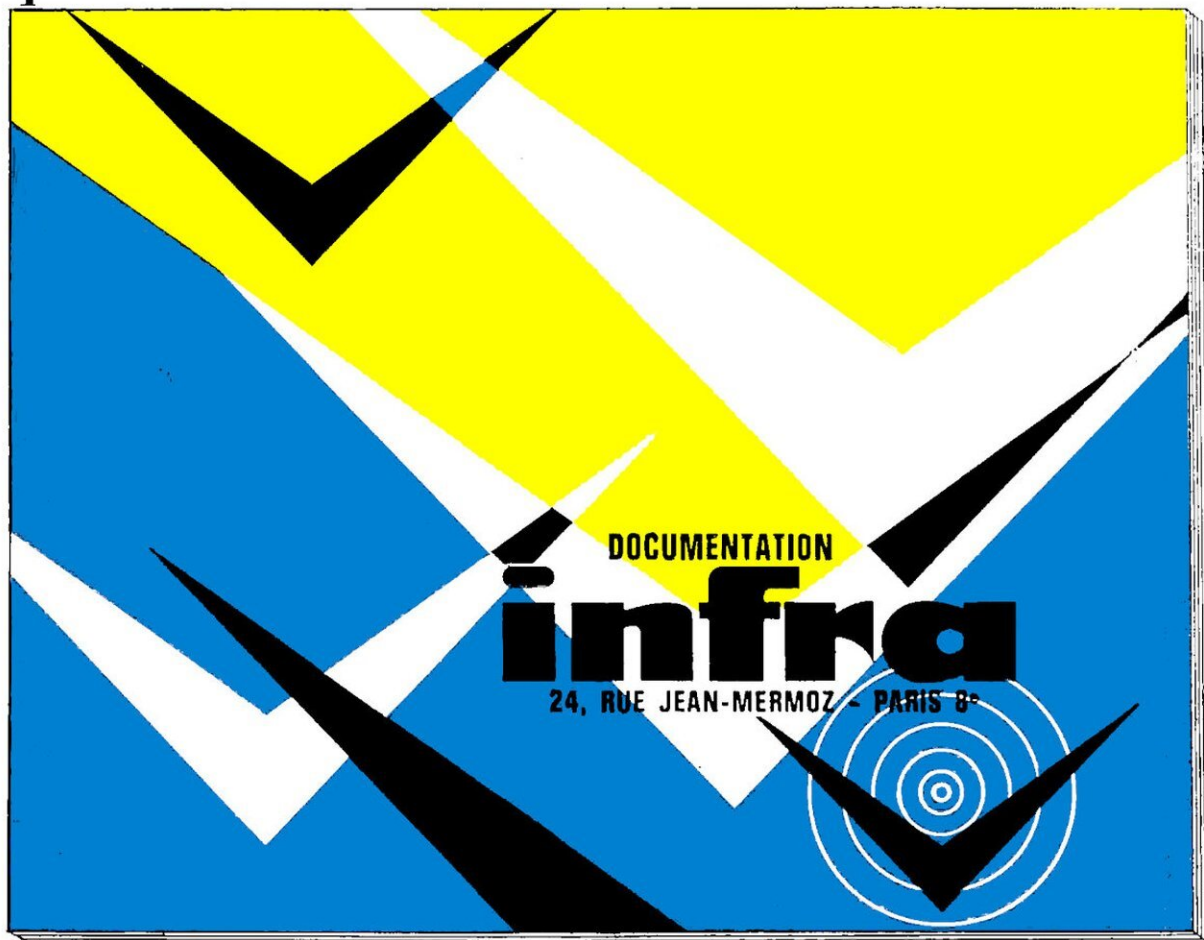
**DES MILLIERS
D'INÉGALABLES
SUCCÈS**

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

— — — A découper ou à recopier — — —

ENVOI GRATUIT N° 566	ÉCOLE UNIVERSELLE 59, Bd Exelmans, Paris-16 ^e
Initiales et N° de la brochure choisie	
NOM	
Adresse	

quel technicien serez-vous ?
 quel technicien êtes-vous ?
 quel technicien voudriez-vous être ?



AVIATION

- Pilote (tous degrés) - Professionnel - Vol. aux instruments •
- Instructeur - Pilote • Brevet Élémentaire des Sports Aériens •
- Concours Armée de l'Air • Mécanicien et Technicien • Agent
- Technique - Sous-Ingénieur • Ingénieur.

Pratique au sol et en vol au sein des aéro-clubs régionaux.

DESSIN INDUSTRIEL

- Calqueur-Détaillant • Exécution • Etudes et Projecteur-Chef
- d'études • Technicien de bureau d'études • Ingénieur-Mécanique
- générale.

Tous nos cours sont conformes aux nouvelles conventions normalisées (AFNOR).

RADIO - TV - ÉLECTRONIQUE

- Radio Technicien (Monteur, Chef-Monteur, Dépanneur-Aligneur,
- Metteur au point) • Agent Technicien et Sous-Ingénieur • Ingé-
- nieur Radio-Electronicien

TRAVAUX PRATIQUES. Matériel d'études. Stages.

AUTOMOBILE

- Mécanicien-Electricien • Diagnosticien et Motoriste • Agent
- Technique et Sous-Ingénieur • Ingénieur en automobile.

la réponse passe par INFERA cours par correspondance

ADAPTÉS A TOUS NIVEAUX D'INSTRUCTION :

ÉLÉMENTAIRE, MOYEN, SUPÉRIEUR
 FORMATION, PERFECTIONNEMENT, SPÉCIALISATION
 Préparation théorique aux diplômes d'Etat : CAP-BP-BTS,
 etc. Orientation professionnelle - Placement.

Sans engagement, demandez la documen-
 tation gratuite SE en spécifiant la section
 choisie (joindre 4 timbres pour frais) à :
 INFRA, 24, rue Jean-Mermoz, Paris 8^e.

infera

L'ÉCOLE PRATIQUE POLYTECHNIQUE
 DES TECHNICIENS ET CADRES

24, RUE JEAN-MERMOZ • PARIS 8^e • Tél. : 225.74-65
 Métro : Saint-Philippe du Roule et F. D. Roosevelt - Champs-Élysées