

SCIENCE ET VIE



NUMÉRO
HORS-SÉRIE
200^F

L'ASTRONAUTIQUE

Raymond

LA MONTRE LA PLUS PETITE



Elle tient dans le chaton d'une bague. Le mouvement, seul, mesure 4 m/m 5 de largeur et son cadran 4 m/m de côté.

Pour réduire au minimum la surface d'encombrement les rouages ont été placés sur deux plans superposés.

Dans le corps de ce prodigieux insecte bat un cœur qui émet 21.600 vibrations à l'heure.

ÉTONNANTES RÉALISATIONS DE L'INDUSTRIE HORLOGÈRE

LA MONTRE LA PLUS PLATE

Elle n'est pas plus épaisse qu'une pièce de deux sous : 1 m/m 4 d'épaisseur. Nous sommes loin de ces gros "oignons" d'autrefois dont certains allaient jusqu'à 4 cm. d'épaisseur.

Ici, pas de pierreries, pas de décor inutile, mais, plus précieuse encore, ce défi lancé à la construction mécanique ; cette réussite technique née de mains miraculeuses ; toute cette vie compliquée de la montre, tous ces rouages, où semble résider le génie même de la précision, contenus dans l'épaisseur d'un millimètre et quatre dixièmes.

LA MONTRE LA PLUS COMPLIQUÉE



Elle est à peine plus grosse qu'une montre ordinaire. Une seule molette suffit à en remonter tous les mouvements. Elle indique : l'heure, les mois et les quantièmes, les jours de la semaine et ceci en tenant compte des modifications apportées par les années bissextiles.

Elle comporte un chronographe à aiguille dédoublante rattrapante, c'est-à-dire qui permet de mesurer en même temps des opérations continues et des opérations intermittentes. Ouverte dans son cadran, une petite fenêtre montre les phases successives de la lune.

Enfin, par une simple pression sur un bouton, on peut à volonté, à n'importe quel instant, entendre sonner les heures, les 1,4 d'heure et même les minutes.

De telles réussites, choisies parmi beaucoup d'autres jusqu'ici inégalées, prouvent à elles seules que le souci de la perfection technique est la qualité majeure de

JAEGER-LECOULTRE

HORLOGERIE DE LUXE
INSTRUMENTS DE PRÉCISION

UN LIVRE PASSIONNANT

par
ALEXANDRE ANANOFF

L'ASTRONAUTIQUE

Atteindre la lune
Réalité
d'aujourd'hui.

Un volume de 500 pages
avec 155 illustrations
dont 30 photographies.
PRIX 800 fr.

LIBRAIRIE ARTHÈME FAYARD

Collection in-4°

LAROUSSE



ASTRONOMIE

les astres, l'univers.

La vie du ciel et ses mystères,
par L. RUDAUX et G. de VAUCOULEURS.
Un fort volume relié de 496 pages, 866 grav.,
12 planches en couleurs.

LA SCIENCE

ses progrès, ses applications.

Les dernières techniques des sciences
mathématique et physico-chimique.
Deux forts volumes reliés, plus de 800 pages,
2 360 grav., 12 planches hors-texte.

COLLECTION SCIENTIFIQUE LAROUSSE

par Marcel BOLL :
10 volumes.

FILMS D'ENSEIGNEMENT LAROUSSE.

Une collection de 400 films environ, comprenant, entre autres : deux films fixes sur l'ASTRONAUTIQUE, par A. ANANOFF :
AS 1. Du rêve à la réalité ;
AS 2. La navigation interplanétaire.



Renseignements et catalogues sur demande
chez tous les Libraires et

LAROUSSE

13, rue Montparnasse — PARIS-6°

* **Faites vous-même
vos
sous-verres**

**la bande prépliée
garantie du succès...**

1 Vous êtes assuré du parallélisme parfait de la bande collée.

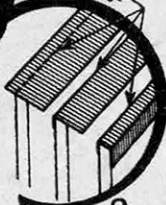
2 Vous avez la possibilité de faire un encadrement large ou mince, la bande étant prépliée au 1/3 de la largeur.

3 Le prépliage à la machine facilite le travail, garantit une exécution impeccable, économise votre temps.

Embellissez votre intérieur

Grâce à SOUVERNOP, la bande de luxe gommée et prépliée vous ferez, à peu de frais, des sous-verres impeccables avec de belles photos, des hors-textes, des gravures -

Utilisation du prépliage



Attaches spéciales
FIXO-NOP
pour suspendre
vos sous-verres;
en toile gommée
avec anneau de
laiton.

CH. 222 PP



Exclusivité

SOUVERNOP

Corectot - ADHÉSINE

En vente dans les Papeteries et les Maisons de Photo



★ Dès la deuxième leçon, notre élève M. ARNOD ("Le Sagy" LES ROUSSES, Jura) a su profiter de nos conseils pour camper cette étude solide et personnelle.



Voulez-vous SAVOIR DESSINER?

Si vous pouvez écrire...
vous pouvez DESSINER.

Bouleversant les vieilles routines, la curieuse méthode A.B.C. vous apprend à retrouver dans tout ce qui vous entoure les lignes, les courbes, les formes que vous utilisez pour écrire. Elle vous montre comment les employer, comment les unir l'une à l'autre pour dessiner n'importe quel sujet. Après, tout devient facile.

Cette étonnante École A.B.C. vous enseigne le dessin et la peinture chez vous, par correspondance : quel que soit votre lieu de résidence, vous apprenez tout seul, quand vous le désirez, guidé par les conseils d'un artiste parisien qui devient votre professeur particulier.

Avec A.B.C., dès la première leçon, vous dessinez d'après nature faisant de véritables croquis pris sur le vif et non pas de pâles copies. De plus, une fois le cours terminé, vous êtes inscrit gratuitement, selon vos goûts et vos dispositions, à un cours de spécialisation dans une des branches rémunératrices du dessin.



★ Vivant croquis de notre élève M. GIRARD (47, avenue des Prés-le-Roi à BOURGES)

★ Voici une œuvre d'Art achevée : qu'il s'agisse de Dessin ou de Peinture, l'École A.B.C. ne se satisfait pas d'un demi-succès chez l'Élève. — M. MARTINEAU à VEZINS (Maine-et-Loire) a obtenu avec ce remarquable portrait la Médaille d'Argent au Salon des Artistes Français de 1951.

Seul cours de son genre !

L'École A.B.C. de Dessin, la plus importante École de Dessin du monde, fondée en 1913 (plus de deux cent mille abécésistes dans 16 pays différents) donne à chacun de ses élèves le droit de se spécialiser gratuitement dans les branches du dessin qui rapportent : Publicité, Mode, Décoration, Illustration, Dessin humoristique, Portrait, etc...

RENSEIGNEZ-VOUS : Écrivez ou venez dès maintenant à l'École A.B.C., pour demander l'Album

(offert gratuitement) ou vous trouverez tous renseignements sur A.B.C. ainsi que sur les carrières qui s'ouvrent à celui qui sait dessiner. Si vous êtes à Paris, venez visiter, librement, l'exposition permanente des œuvres de nos élèves.

★ Vie et tendresse s'unissent dans ce petit croquis de notre élève Mme FROMENT (19, rue du 11 Novembre à Vigmael, Belgique).



GRATUIT!

Demandez un exemplaire gratuit de ce nouvel Album — 24 pages, plus de 150 illustrations — en utilisant ou en recopiant le coupon ci-dessous. Ce sera pour vous une véritable révélation.



★ L'École A.B.C. développe au maximum l'esprit d'observation, comme en témoignent ces dessins de Mlle BIZET à CRANCEY (Aube).

POSTEZ CE COUPON AUJOURD'HUI MÊME

ÉCOLE A.B.C. DE DESSIN (stud. 6.62)
12, rue Lincoln (Champs-Élysées) PARIS-8^e

Veillez m'envoyer sans engagement votre Album gratuit sur la méthode A.B.C. (Ci-joint 2 timbres pour frais d'envoi).

- Cours pour Adultes
- Cours pour Enfants de 8 à 13 ans.
(Rayez la mention inutile)

NOM.....

ADRESSE.....

Pour la Belgique : 18, rue du Méridien, Bruxelles.

L'ASTRONAUTIQUE

SOMMAIRE

★ ÉDITORIAL.....	2
★ VOYAGES EXTRA-TERRESTRES, Ernest ESCLANGON	4
★ L'ASTRONAUTIQUE, Alexandre ANANOFF	13
★ QUE TROUVE-T-ON DANS LE "VIDE" INTERPLANÉTAIRE? J. GAUZIT	28
★ CE QUE NOUS SAVONS DE LA LUNE ET DES PLANÈTES, J. GAUZIT.....	40
★ MILLE ANS D'HISTOIRE DE LA FUSÉE, Alexandre ANANOFF.	56
★ LA PROPULSION PAR FUSÉE, Camille ROUGERON.....	86
★ COMBUSTIBLES POUR FUSÉES, Camille ROUGERON.....	96
★ L'ASTRONEF A PROPULSION NUCLÉAIRE, J.-J. BARRÉ.	104
★ L'HOMME POURRA-T-IL VIVRE A BORD D'UN ASTRONEF? Dr. Louis GOUGEROT	116
★ LE SATELLITE ARTIFICIEL ET LES VOYAGES COSMIQUES, Charles LESSAC	134

SCIENCE ET VIE

FRANCE : Administration et Rédaction : 5, rue de La Baume, Paris-8^e, Téléphone : Balzac 57-61. Chèque postal : 91-07, Paris. Adresse télégraphique : SIENVIE-PARIS. — Publicité : 2, rue de La Baume, Paris-8^e. Tél. Élysées 87-46.
BELGIQUE : Société ÉDIMONDE, Direction et Administration : 10, bd de la Sauvenière, Liège. Téléphone : 23.78.79.
ITALIE: SCIENZA E VITA. Direzione, Redazione e Amministrazione : 8, Piazza Madama, Roma. Telefono : 50919. C.C.P. 1.14.983.
SUISSE : INTERPRESS S.A. Administration : 1, rue Beau-Séjour, Lausanne, Téléphone : 26-08-21. C.C.P. 11.68-40.

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Copyright by SCIENCE ET VIE.

Décembre mil neuf cent cinquante-deux.



DÉDALE ASSEMBLE LES AILES D'ICARE QUI S'ENVOLERA VERS LE SOLEIL

ÉDITORIAL

« **A**STRONAUTIQUE » évoque dans l'esprit du profane les anticipations de Jules Verne, aujourd'hui bien dépassées, les innombrables récits pseudo-scientifiques des magazines à sensation, voire les « comics » des journaux pour enfants ou des quotidiens. Les gens qui se prétendent raisonnables accueillent ce terme avec un sourire sceptique. Pourtant si, demain, des titres sur cinq colonnes annonçaient qu'une fusée a été lancée sur la Lune, la nouvelle trouverait peu d'incrédules.

N'a-t-on pas déjà obtenu des échos radar sur sa surface ? N'a-t-on pas lancé des instruments d'observation à plusieurs centaines de kilomètres d'altitude ? Ne nous annonce-t-on pas la sortie prochaine d'un avion propulsé par l'énergie nucléaire ? Tant de découvertes sensationnelles ont bouleversé notre monde depuis vingt ans, les perspectives qu'elles ouvrent sont si vastes et le progrès technique a été si rapide dans tous les domaines qu'on en arrive à s'étonner que nul explorateur n'ait encore foulé le sol de notre satellite, ou tout au moins n'en ait fait le tour.

Il y a vingt ans, personne, sauf de rares et tenaces enthousiastes, ne croyait à l'astronautique. Elle paraissait n'être qu'un jeu assez vain de l'imagination, fondé sur des notions scientifiques rudimentaires, et des hypothèses hasardeuses. Elle serait demeurée du domaine des spéculations académiques si les progrès des fusées au cours de la dernière guerre

n'avaient pas laissé entrevoir la solution pratique du problème fondamental : vaincre l'attraction terrestre, briser le lien qui retient l'homme sur la Terre.

De ce fait, la recherche astronautique apparaît aujourd'hui sous un jour nouveau. L'idée générale est qu'une fois acquise la « vitesse de libération », il n'y a plus de limite à la distance franchissable. A vrai dire, les fusées jusqu'ici construites n'ont pas atteint cette vitesse, mais la marge n'est plus très grande, et on fait aisément confiance à l'ingéniosité des techniciens pour la combler prochainement.

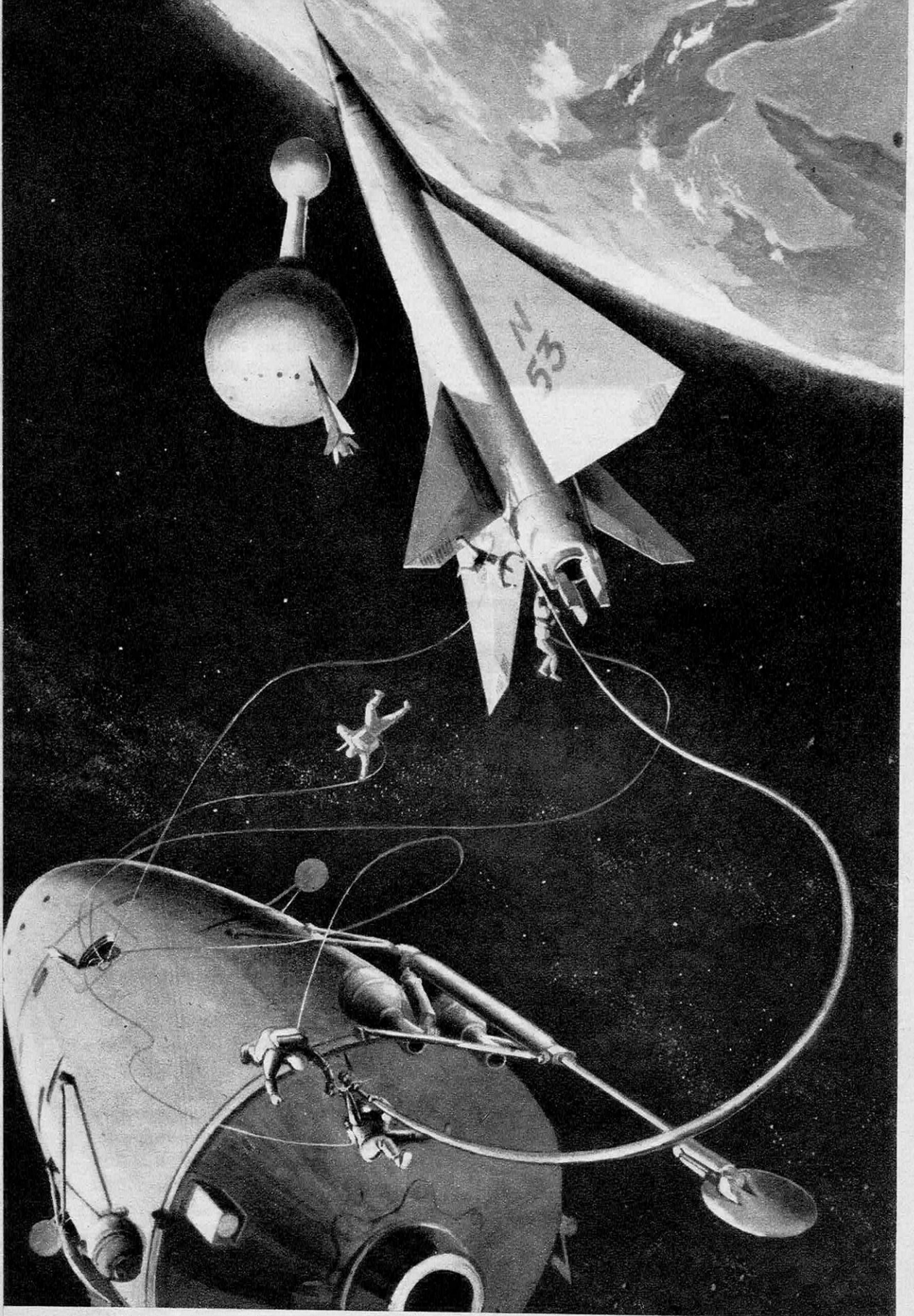
Aussi n'est-il pas surprenant de voir les savants les plus authentiques, les techniciens les plus éminents se pencher maintenant sur les problèmes astronautiques. Astronomes et mathématiciens calculent les trajectoires, les astrophysiciens discutent de la composition des atmosphères des astres et du « vide » interstellaire, les chimistes étudient les vitesses de réaction des « propulsifs », les thermodynamiciens le dessin des tuyères, les métallurgistes les alliages spéciaux et les aérodynamiciens le profil à donner aux astronefs pour l'envol et le retour dans l'atmosphère. Enfin les physiologistes s'attaquent au problème de la vie en atmosphère confinée et « sans pesanteur ».

Devenue une science officielle, puisqu'elle a déjà rassemblé trois Congrès Internationaux, l'Astronautique apparaît en effet comme une sorte de grand'œuvre, synthèse des sciences et des techniques les plus diverses. Il n'est pas jusqu'aux juristes qui ne commencent à discuter sérieusement des limites de la juridiction des Etats sur l'espace qui surmonte leur territoire, et du droit qu'aurait une puissance à annexer tout ou partie du sol lunaire. Quelques déclarations prématurées de politiciens incompetents ont amené les astronautes à dénoncer de telles visées « impérialistes ».

L'expédition lunaire est-elle donc pour demain ? A cette question, les plus optimistes parmi les astronautes se gardent de donner une réponse précise. Les techniciens qualifiés d'il y a 30 ou 40 ans n'ont pas prévu qu'en 1950 des avions traverseraient quotidiennement l'Atlantique en 12 ou 15 heures avec 60 passagers et que les avions de chasse voleraient plus vite que le son. Moins timides, les astronautes affirment aujourd'hui que la conquête de notre satellite doit être l'œuvre de notre génération, si elle veut bien y consacrer tous ses efforts. Quant à l'exploration des planètes même les moins éloignées, Mars et Vénus, on s'accorde généralement pour l'abandonner aux générations suivantes.

La conquête des espaces extra-terrestres s'effectuera par étapes. Déjà, avec les fusées-sondes, nous atteignons la limite de l'atmosphère. Dans dix ou quinze ans, peut-être plus, peut-être moins, cela dépendra de nous, nous aurons établi un satellite artificiel. Ce sera le tremplin d'où s'élanceront les astronefs à destination des autres astres. Les éléments de son orbite sont calculés ; les risques de rencontre avec les météorites sont évalués, et on les a trouvés minimes ; on a même chiffré le prix de ce satellite (en dollars, naturellement) : deux fois celui de la bombe atomique, tout compris. A ce prix on trouverait sans peine, sur notre globe, des tâches plus urgentes.

L'aspect financier du problème n'est certes pas négligeable, mais il demeure que, dans l'état actuel de la technique, les bornes de l'atmosphère sont à notre portée. Dans un délai rapproché, nous pourrons aller beaucoup plus loin. Et ce que l'homme peut faire, il le fait. Des dangers inconnus l'attendent, sans doute, mais l'esprit d'aventure est si profondément ancré au cœur de certains que lorsque les routes du ciel s'ouvriront, les volontaires ne manqueront pas pour les affronter.



VOYAGES EXTRA-TERRESTRES

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

D'abord, la conquête de la Lune. Notre satellite est à moins de 400 000 kilomètres, dix fois le tour de la Terre, une misère. A raison de 10 km à la seconde, vitesse astronomiquement modeste, le voyage s'accomplirait en 10 heures, l'équivalent d'une nuit de chemin de fer ou d'avion. Après la Lune, les planètes, nos proches voisins malgré tout, dans cet immense océan de l'espace, où entraînés par le Soleil, nous voguons de concert, dans une si profonde ignorance mutuelle. Et après les planètes, les étoiles! L'imagination n'a évidemment pas de bornes.

Mais il y a loin du rêve à la réalité. Il y a des degrés dans la vraisemblance des possibilités humaines, degrés que, malheureusement, nous ne saurions ni mesurer ni calculer. Nous sommes aveuglés par les conquêtes extraordinaires que la science moderne a offertes à nos yeux dans de si multiples domaines.

Cependant, l'immensité prodigieuse des espaces célestes n'est pas sans jeter un trouble profond dans notre conscience et le désarroi dans le sentiment que nous pouvons avoir des possibilités de l'homme dans le domaine céleste. Les astronomes nous parlent de galaxies semblables à celle qui constitue notre propre Voie Lactée et dont certaines gravitent à un milliard d'années-lumière. Un milliard d'années, à raison de 300 000 km à la seconde! Cela est tellement inconcevable pour nous, qu'on peut se demander, parfois, si quelque inimaginable

erreur ne s'est pas glissée dans l'interprétation des faits astronomiques qui ont conduit à de semblables résultats.

De tels domaines sont, certes, bien au-delà des possibilités d'exploration des hommes; il est déjà admirable et surprenant qu'on ait pu en mesurer l'inconcevable étendue.

LE DOMAINE DU SYSTÈME SOLAIRE

A la vérité, nul ne songe que l'homme puisse un jour visiter ces immensités, mais depuis une trentaine d'années, stimulés par les progrès bouleversants de la science, des chercheurs audacieux ont pensé que le système solaire pourrait, peut-être, en quelques-unes de ses parties tout au moins, devenir à la portée de voyages humains.

Il ne s'agit plus ici, en tant que distances, que de quelques minutes, au plus de quelques heures-lumière, c'est-à-dire de quelques dizaines ou centaines de millions de kilomètres (le Soleil est à 150 millions de kilomètres). Parmi les grosses planètes, celle qui se rapproche le plus de la Terre est la planète Vénus, dont la distance reste néanmoins supérieure à 40 millions de kilomètres; vient ensuite Mars, dont la distance à notre globe ne devient pas moindre que 55 millions de kilomètres. Ne nous attardons pas sur les planètes plus lointaines: Jupiter à plus de 550 millions de kilomètres, Saturne à plus d'un milliard, Uranus à plus de deux milliards, Neptune et Pluton à plus de quatre milliards de kilomètres. L'étendue du système solaire est donc, en y comprenant les planètes les plus lointaines, de l'ordre de quelques milliards de kilomètres.

C'est encore beaucoup, même en se bornant à nos voisins les plus proches, Vénus et Mars. S'il s'agissait de franchir de telles distances à la manière dont nous pouvons parcourir, en tous sens, la surface de notre globe, ou son atmosphère par avion, ces quelques dizaines de millions de kilomètres, n'auraient rien d'absolument effrayant. A raison de 1 000 km à l'heure, un avion devrait voler pendant 40 000 heures, un peu plus de 4 ans, pour atteindre Vénus, un peu plus de 6 ans pour arriver sur Mars. Du point de vue astronomique, de telles vitesses sont faibles: la Terre par exemple, se meut autour du Soleil à raison de 108 000 km à l'heure, et les astronautes pensent que des vitesses du même ordre, par exemple 10 ou 20 km à la seconde, pourront être réalisées. Quelques mois seulement seraient alors nécessaires pour atteindre Vénus ou Mars.

Des difficultés extrêmement importantes, du

ETAPE SUR LE VOYAGE A LA LUNE

Ce dessin de R.A. Smith illustre les conceptions de nombre de théoriciens de l'aéronautique sur les modalités d'un voyage d'exploration sur la Lune. On y voit au premier plan l'astronef au long cours qui se posera sur le sol lunaire; il est ravitaillé en combustible par une fusée-réservoir, et les astronautes que d'autres fusées ont déjà amenés sur la station-relais permanente, à l'arrière-plan, y prennent place. La station constitue un satellite artificiel de la Terre, à quelques centaines de kilomètres de sa surface, et c'est sur son orbite que s'effectuent les derniers préparatifs. Le personnel a revêtu des scaphandres souples pour évoluer dans le vide et il ne règne pour lui aucune pesanteur apparente.

moins si l'on devait envisager des astronefs avec passagers, proviendraient des conditions à réaliser pour l'entretien de la vie dans ces espaces interplanétaires où règnent des circonstances physiques si différentes de celles dans lesquelles nous avons été appelés à vivre ; conditions thermiques, physiques et chimiques, luminosité, pesanteur et, non moins importantes, conditions morales de l'existence dans une ambiance si éloignée de celle à laquelle nous sommes accoutumés et si strictement attachés. D'autre part, l'espace interplanétaire est sillonné par des météorites, animées de grandes vitesses pouvant dépasser 60 km par seconde; même très petites (la plupart des étoiles filantes ne dépassent pas quelques décigrammes), elles possèdent une énergie considérable, comparable à celle d'un projectile d'artillerie; leur force vive, pour les très petites météorites tout au moins, serait, par le choc, presque entièrement transformée en énergie calorifique, mais elles n'en resteraient pas moins redoutables. Quant à la rencontre avec un bolide de dimensions appréciables, elle serait immédiatement fatale.

Au surplus, les planètes du système solaire diffèrent profondément de la Terre et se trouvent dans des états évolutifs très différents.

L'analyse spectrale a montré qu'il n'y a pas d'eau sur Vénus. Les nuages qu'on croit y observer seraient plutôt formés de fines poussières qui, en se déplaçant, donnent à la surface de la planète un aspect perpétuellement changeant. L'atmosphère ne contient pas d'oxygène; elle serait presque entièrement constituée par du gaz carbonique. L'opinion dominante, parmi les astronomes, est que Vénus présente toujours la même face au Soleil, semblable en cela à la Lune vis-à-vis de la Terre. La température, sur la face éclairée, serait de l'ordre de 50° C. La pesanteur y serait les 9/10 de notre pesanteur terrestre.

Sur Mars, l'atmosphère est très raréfiée (quelques centimètres de mercure). Elle est composée en majeure partie (98 %) d'azote avec des traces de gaz carbonique, d'argon, et peut-être aussi de vapeur d'eau. La température y est très basse, de l'ordre de — 20° C. La pesanteur à la surface n'est que le tiers de la pesanteur terrestre.

On voit par là que ces deux planètes, nos plus proches voisines, ne se prêtent pas à une vie physiologique analogue à celle de la grande majorité des êtres qui peuplent notre globe, à la vie humaine en particulier. L'absence presque complète d'oxygène et d'eau représente des circonstances particulièrement défavorables.

Nous ne parlerons pas des autres planètes : de Mercure, dont la proximité du Soleil (58 millions de kilomètres) entretient sur la surface éclairée, sans doute toujours la même, une température très élevée de 300° C ; des planètes supérieures, telles que Jupiter, Saturne, Uranus, etc., où, au contraire, en raison de leur grand éloignement du Soleil, les températures sont extrêmement basses (moins de — 100° C) ; les atmosphères sont composées surtout d'ammoniaque et de méthane.

Quant au domaine stellaire, il n'y faut point songer. L'étoile la plus voisine de nous est à une distance 275 000 fois celle qui nous sépare du Soleil, mais la plupart d'entre elles, celles qui constituent la Galaxie, notre patrie stellaire, sont à des distances incomparablement plus grandes, 100, 1 000, 10 000 fois plus éloignées. Et que dire alors des innombrables galaxies, autres mondes et autres patries, dont est peuplé l'espace; leurs distances s'évaluent par millions, par centaines de millions d'années-lumière, c'est-à-dire par des milliers et dizaines de milliers de milliards de fois la distance de la Terre au Soleil. La galaxie la plus voisine, connue sous le nom de nébuleuse d'Andromède, est encore, pour nous, 50 milliards de fois plus éloignée que le Soleil.

LA LUNE

Bornons-nous donc au système solaire et, dans ce domaine, allons au plus près, à notre fidèle compagne et amie la **Lune**, reine de nos nuits, astre paisible, cher aux poètes qui ne cessent d'en chanter la douce et amoureuse clarté! La distance de la Lune à la Terre oscille entre 350 000 et 418 000 kilomètres, avec une moyenne de 384 000; une paille, comparée à l'éloignement si démesuré de tous les autres astres qui émaillent notre ciel. La plupart des aviateurs de carrière ont parcouru des distances bien supérieures; 350 heures de vol à 1 000 km à l'heure suffiraient pour franchir cette faible distance. La lumière ne met guère plus d'une seconde pour nous en parvenir, tandis qu'il lui faut déjà 8 minutes pour nous arriver du Soleil. D'ailleurs, grâce au radar, l'homme a, pour ainsi dire, déjà pris contact avec la Lune, puisqu'il a dirigé vers elle des ondes radio-électriques dont il a pu noter le retour sur notre globe.

La Lune est un globe dont le diamètre est moins du tiers de celui de la Terre; la pesanteur n'y est, à la surface, que le 1/6 de la pesanteur terrestre. Un homme y deviendrait d'une extrême légèreté et, avec la puissance normale de ses muscles, pourrait y exécuter des bonds d'une prodigieuse ampleur. On sait, d'autre part, qu'aucune atmosphère n'existe à sa surface; des travaux récents ont montré que, s'il en existait des traces, la pression y serait inférieure à un millionième de l'atmosphère terrestre.

C'est donc vers la Lune que les astronautes dirigent leurs regards, encouragés par les perspectives nouvelles que l'énergie atomique a ouvertes dans les moyens de propulsion.

Mais nous sommes encore bien loin du but et, indépendamment des questions d'énergie propulsive, se posent d'autres problèmes très graves, surtout si le but poursuivi comporte le transport de passagers dans des nefs astronautiques. Nous verrons plus loin l'aspect de quelques-unes de ces difficultés essentielles.

Réduits pour le moment à de simples vues de l'esprit, les astronomes et les balisticiens ont mis en chantier l'étude d'un problème beaucoup plus modeste. Ils se sont demandé s'il ne

serait pas dans nos possibilités actuelles de créer des satellites artificiels de la Terre, beaucoup plus voisins que la Lune. Pour certains, ces satellites pourraient même être utilisés comme relais ou stations d'étapes, et servir de bases pour la poursuite de voyages plus lointains, notamment vers la Lune, ou encore pour servir d'observatoires en ce qui concerne les événements physiques, ou autres, survenant à la surface de notre globe. Empressons-nous d'ajouter toutefois que, on le verra plus loin, il n'y aurait sur de tels satellites, de dimensions comparativement minuscules et soumis aux seules forces de gravitation, aucune pesanteur apparente; on ignore encore si, de ce fait, tout séjour humain n'y serait pas impossible.

Mais même ce problème de la création de satellites artificiels, d'apparence plus simple, comporte des difficultés insoupçonnées a priori, malgré la puissance supposée acquise de tous les moyens balistiques dont on disposerait.

LES SATELLITES ARTIFICIELS DE LA TERRE

La première idée qui vient à l'esprit pour la création éventuelle de satellites artificiels, est de lancer des projectiles à partir de la surface terrestre. On peut penser qu'en les animant d'une vitesse initiale suffisamment élevée, ils pourraient se transformer en satellites permanents. C'est là une idée erronée.

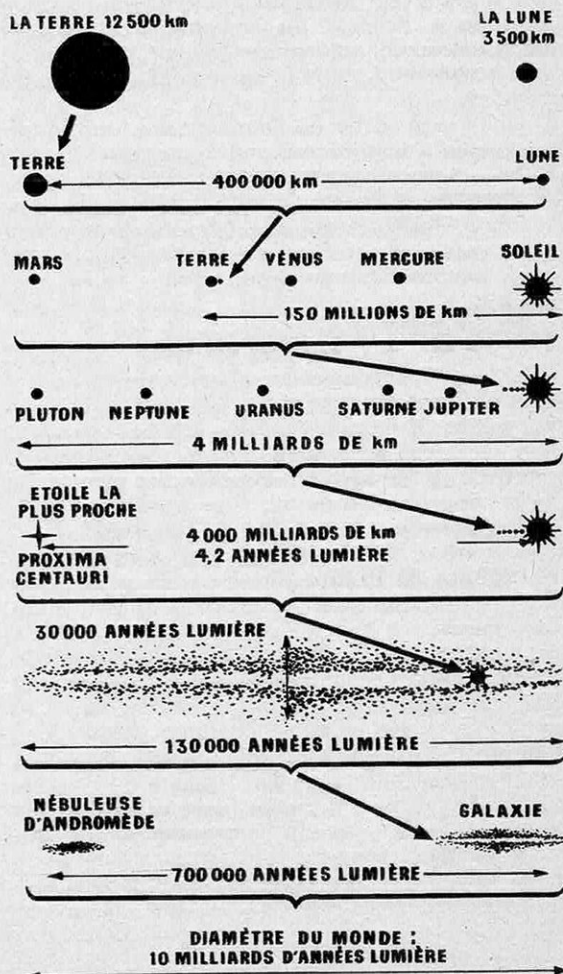
Supposons un instant la Terre dépourvue d'atmosphère, et qu'à partir de sa surface on lance un projectile. Celui-ci est soumis à la seule force attractive de la Terre, dirigée vers son centre. D'après les lois de Képler et de Newton, il décrit une orbite elliptique, ou hyperbolique : ellipse, si la vitesse initiale est inférieure à 11 km par seconde, branche d'hyperbole si elle lui est supérieure. Dans ce dernier cas, le mobile s'éloignera indéfiniment de la Terre, ce qui exclut toute idée de satellite permanent. Si la trajectoire est une ellipse, qui est une courbe fermée, le projectile devrait repasser par le point de départ, avec la même vitesse, en valeur et direction; il en sera empêché, parce qu'il heurtera auparavant la surface du sol. Il y aurait bien le cas limite où la projection initiale serait horizontale (avec toutefois une vitesse supérieure à 8 km/s), mais ce cas est sans intérêt, car le projectile reviendrait alors raser la surface du sol, après une révolution complète autour de la Terre.

En réalité, la Terre est entourée d'une atmosphère. Cette circonstance ne fait que renforcer

la conclusion précédente, à savoir impossibilité, par simple lancement d'un projectile, d'obtenir un satellite permanent.

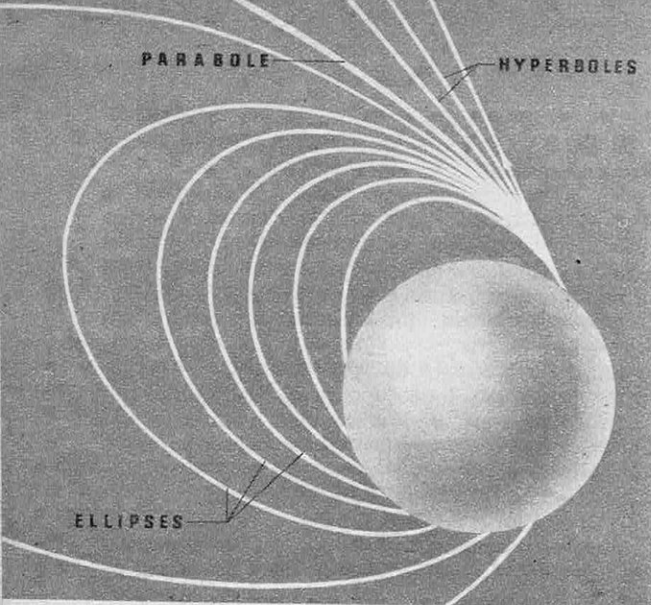
Voici de quelle manière on peut s'en rendre compte. D'abord, il est de toute évidence qu'un satellite permanent ne saurait évoluer qu'en dehors de l'atmosphère terrestre, sans quoi il serait soumis, de la part de celle-ci, à un freinage continu qui, finalement, entraînerait sa chute sur le sol.

Supposons donc un projectile lancé d'un point de la surface, ou même, plus généralement, d'un point de l'atmosphère. Sous l'action de la force attractive terrestre et de la résistance de l'air, il suivra une certaine trajectoire. Considérons un point quelconque de celle-ci et imaginons qu'en ce même point, au même instant et avec la même vitesse, passe un mobile fictif soustrait à la résistance de l'air et subissant seulement l'effet de l'attraction terrestre. Sa trajectoire serait, par rapport au centre de la Terre, elliptique ou hyperbolique, et le point de cette trajectoire fictive le plus rapproché du centre de la Terre, le « périégée », serait à une certaine distance du centre de la Terre. A chaque point de la trajectoire réellement décrite, nous pouvons ainsi faire correspondre une distance périégée de la trajectoire fictive



LES DIMENSIONS DE L'UNIVERS

Les distances qui séparent les astres sont énormes et les nombres qui les expriment dépassent l'imagination et perdent pour nous toute signification. Le tableau ci-contre permet de comparer, en partant des dimensions de la Terre et de la Lune, ces distances que nous nous représentons mal, même lorsqu'il ne s'agit que du système solaire. Dans le cas des étoiles, même proches, elles décourageront sans doute toujours les astronautes.



TRAJECTOIRE D'UN OBUS DANS LE VIDE

Si on néglige la résistance de l'air, un obus lancé de la surface de la Terre décrira une conique ayant le centre de la Terre pour foyer. Cette orbite peut être une parabole ou une hyperbole, et dans ce cas l'obus s'éloignera indéfiniment. S'il s'agit d'une ellipse, elle recoupera la surface de la Terre en un point où l'obus retombera.

L'OBUS NE PEUT DEVENIR SATELLITE

Dans l'air, l'obus sera freiné ; si sa vitesse est assez grande à la sortie de l'atmosphère, il s'éloignera indéfiniment, sinon il retombera dans l'air. A chaque point du trajet réellement suivi, on peut faire correspondre l'orbite fictive (ellipse) que parcourrait l'obus dans le vide. La distance périégée décroît pour les orbites correspondant à des points successifs de la trajectoire. Donc l'obus, même lancé d'une certaine altitude dans l'atmosphère, ne peut graviter indéfiniment autour de la Terre. Au contraire, pour un projectile autopropulsé, les distances périégées des orbites fictives croissent. Il peut donc devenir, dans des cas favorables, un satellite artificiel.

du mobile correspondant. L'effet de la résistance de l'air sur le projectile réel est que cette distance périégée va constamment en diminuant. Lorsque le projectile sort de l'atmosphère, la résistance de l'air disparaît ; la trajectoire réelle coïncide alors avec la trajectoire du mobile fictif que nous avons imaginé, mais la distance périégée est devenue plus petite que la distance périégée à l'instant du lancement, elle-même nécessairement inférieure (ou au plus égale) à la distance du point de lancement au centre de la terre.

Donc, à la sortie de l'atmosphère, ou bien le projectile a une vitesse suffisante pour décrire une branche d'hyperbole et il s'éloignera indéfiniment de la Terre, ou bien il décrira une trajectoire elliptique qui le ramènera de nouveau dans l'atmosphère où il sera freiné à nouveau, pour tomber finalement sur le sol.

PROPULSION HORS DE L'ATMOSPHÈRE

Il y a donc impossibilité absolue de créer des satellites permanents de la Terre, par simple projection de mobiles à partir, soit de sa surface, soit de points situés dans l'atmosphère. Pour y parvenir, il faut avoir recours à des projectiles autopropulsés, au moins temporairement, la propulsion devant nécessairement s'appliquer, ou s'étendre, sur une certaine partie du parcours **en dehors de l'atmosphère** ; toute propulsion qui prendrait fin avant la sortie de celle-ci serait inopérante.

Que signifie d'ailleurs le terme « sortie de l'atmosphère » ? L'atmosphère n'est pas limitée par une barrière définie ; elle s'étale au contraire d'une manière continue jusqu'à des altitudes considérables, de l'ordre de mille kilomètres et plus, ainsi qu'il résulte de l'observation des aurores boréales ; à de telles altitudes toutefois, elle devient extrêmement ténue.

Le terme « limites de l'atmosphère » est donc nécessairement imprécis ; on peut seulement admettre qu'à quelques milliers de kilomètres d'altitude, son effet pourrait être considéré comme insensible.

L'effet d'une propulsion sur un mobile est en quelque sorte l'inverse de celui d'une résistance. Si nous revenons à la considération précédente d'un mobile fictif attaché à chaque position sur la trajectoire d'un projectile réel, le même procédé de démonstration indique que la distance périégée est **croissante** tant que dure la propulsion (dans une propulsion dans l'air, la force propulsive devrait être cependant supposée supérieure à la résistance de l'air). La distance périégée, initialement inférieure au rayon limite de l'atmosphère, ou ce que nous considérons comme tel, peut lui devenir supérieure. Si la propulsion est arrêtée à ce moment (en dehors de l'atmosphère) et si la trajectoire est elliptique (et non hyperbolique), on aura réalisé un satellite permanent.

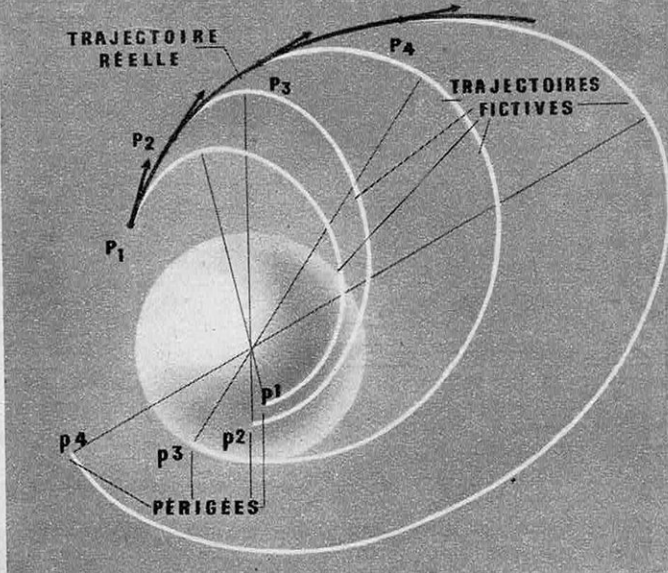
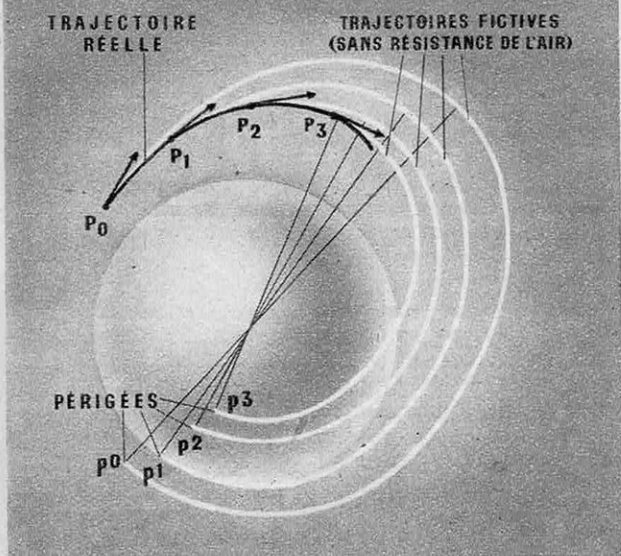
Mais en fait ceci, en dehors même de toute hypothèse sur la puissance des moyens balistiques ou propulsifs dont on peut disposer, n'est pas simple quant aux réalisations pratiques.

Prenons le projectile, au moment où la propulsion vient de cesser (en dehors de l'atmosphère nécessairement, on l'a vu), le projectile étant abandonné à la seule force de gravitation. Quand nous parlons de satellites artificiels de la Terre, nous pensons à des satellites évoluant à des distances relativement faibles de notre globe, à quelques milliers de kilomètres de sa surface, par exemple.

D'abord, pour que la trajectoire soit elliptique, la vitesse doit être **inférieure** à une certaine valeur qui, de 11 km/s à la surface de la Terre, varie ensuite comme l'inverse de la racine carrée de la distance au centre ; si celle-ci était de 13 000 km par exemple, le double du rayon terrestre, cette vitesse limite serait donc d'environ 7,8 km/s.

Mais d'autre part, la distance minimum au centre de la Terre, ou distance périégée, de la trajectoire que doit suivre le satellite, doit dépasser le rayon terrestre de toute la hauteur de l'atmosphère.

Une théorie, que nous ne saurions développer ici, montre que si le satellite est relativement voisin de la Terre, à moins de deux rayons ter-



restres, par exemple, l'angle que doit faire la vitesse avec le rayon vecteur (c'est-à-dire avec la droite allant du centre de la Terre au satellite) doit être compris entre 50 et 90°, avec des limites plus resserrées, si la distance du satellite est moindre (pour 2 000 km d'altitude, cet angle devrait être compris entre 70 et 90°). Enfin, si l'on devait exiger que la trajectoire fût un cercle, la vitesse devrait être, d'une part normale au rayon vecteur, d'autre part avoir une valeur exactement déterminée, en fonction de la distance du centre de la Terre au satellite (1).

La réalisation de ces diverses conditions semble devoir rester assez délicate. Pour un projectile lancé du sol, il s'agit de combiner exactement les données de la projection initiale et de la propulsion consecutive indispensable, pour obtenir, après la traversée de l'atmosphère et arrêt de la propulsion à une certaine distance au-delà, un état cinématique assez strictement défini, tout au moins si le but à atteindre est la réalisation de satellites rapprochés de la Terre.

La propulsion pourrait être enfin conçue, non plus sous la forme d'une action propulsive appliquée au mobile tout entier, mais sous celle d'un projectile secondaire, transporté par le projectile initial, et s'en détachant, au-delà de l'atmosphère, sous l'effet d'une nouvelle déflagration. Pour être conduite avec succès, l'opération serait, sans doute, encore plus délicate.

Peut-être, avec des projectiles radioguidés et des radars pour en contrôler les trajectoires, ainsi qu'il pourrait être possible de le faire actuellement, le problème deviendrait-il pratiquement d'une résolution plus aisée. La question reste néanmoins en suspens.

Quant à la durée de révolution autour de la Terre, elle serait à peine de quelques heures

pour des satellites pas trop éloignés (1). A une altitude de 6 370 km, elle serait de l'ordre de 4 heures.

LE SATELLITE ET L'ASTRONOMIE

L'existence de tels satellites présenterait un intérêt astronomique certain. La Terre n'étant pas exactement sphérique, le mouvement képlérien de ces satellites en serait troublé; leur observation pourrait conduire à certaines indications sur la constitution physique de notre globe.

Enfin, un autre point de vue intéresserait la théorie de la relativité. Celle-ci prévoit, en ce qui concerne les planètes, un déplacement lent et progressif de leur périhélie, mais qui n'est guère sensible que pour Mercure, à raison de 43" d'arc par siècle. Un phénomène analogue devrait se produire pour des satellites rapprochés de la Terre, mais avec une amplitude beaucoup plus grande, par conséquent plus aisément observable. Pour un satellite passant à une distance du centre de la Terre égale à une fois et demie son rayon, c'est-à-dire à 3 000 km de la surface, l'avance annuelle serait de l'ordre de 6", soit 14 fois plus grande que l'avance correspondante de la planète Mercure dans son orbite autour du Soleil. Dans tous les cas, ce déplacement annuel du périhélie serait limité et ne saurait dépasser 16".

MOUVEMENT D'UN ASTRONEF DANS LES ESPACES CÉLESTES

La digression qu'on vient de développer sur les satellites artificiels de la Terre nous a éloignés des problèmes si divers qui se posent au sujet

(1) Cette vitesse doit être de $7,8 \sqrt{\frac{R}{r}}$ km/s, R désignant le rayon terrestre et r la distance du satellite au centre de la Terre.

(1), La durée de révolution est donnée en heures par la formule $T = 1,42 \left[\frac{p}{R(1-e)} \right]^{\frac{3}{2}}$ où p est la distance périhélie, R le rayon terrestre (6370 km), e l'excentricité de l'orbite (nulle dans le cas du cercle). La vitesse au périhélie est donnée en kilomètres par seconde par $v = 7,84 \sqrt{\frac{R(1+e)}{p}}$

du mouvement d'un astronef dans les espaces célestes, ce qui constitue, en fait, la préoccupation majeure des astronautes. Nous laisserons de côté ici toutes les questions se rattachant aux moyens de propulsion qui sont à envisager.

Deux circonstances se présentent dans l'étude du mouvement d'un projectile ou d'une nef dans l'espace, suivant que le mobile est abandonné aux seules forces de gravitation, toujours présentes, ou qu'il comporte, en plus, des forces propres de propulsion, avec alternatives possibles dans leur emploi.

Prenons d'abord le premier cas. Le mobile se meut sous le seul effet des forces de gravitation, c'est-à-dire des forces attractives des corps célestes qui peuplent l'espace : Soleil, planètes, Lune, etc.

Supposons le mobile constitué comme une sorte de navire, à l'intérieur duquel pourraient éventuellement se trouver des observateurs. Une proposition fondamentale est à la base de cette question, à savoir que, pour de tels observateurs, tout se passe comme si la pesanteur avait totalement disparu. Il n'y aurait plus, pour eux, ni haut, ni bas. En équilibre dans toutes les positions, ils seraient en état de complet flottement. Ils ne pourraient se rapprocher des parois, ou les uns des autres, qu'au moyen de gaffes, à la manière des marinières, ou peut-être par des dispositifs magnétiques ou électromagnétiques. Sièges, tables, lits deviendraient des meubles sans objet. Tous les mouvements que nous avons l'habitude d'exécuter seraient suivis d'effets inattendus et quelque peu ridicules, tels les gestes ou contorsions désordonnés de patineurs inexpérimentés se débattant sur un champ de glace, ou encore de parachutistes dans les premiers instants de leur chute. Changer d'attitude, se retourner, deviendrait des problèmes des plus laborieux. Il faudrait, pour le faire, s'inspirer, et ce ne serait pas facile, des manœuvres exécutées instinctivement par les chats pour, dans une chute, retomber sur leurs pattes. Les lits seraient sans utilité; dormir sur le côté gauche ou sur le côté droit, ou sur le dos, n'aurait aucun sens.

Les repas seraient une source de difficultés nouvelles. Il ne saurait être question d'utiliser des verres pour boire ou des cuillères pour absorber un potage. Les liquides seraient d'un maniement difficile. La digestion serait sans doute possible en raison des mouvements péristaltiques de l'intestin. Possibles aussi, probablement, les fonctions attachées à des phénomènes d'osmose ou de chimie biologique. La circulation du sang peut donner lieu à quelques doutes, car, dans les conditions normales, la pesanteur y joue un rôle certain.

Il est maintenant une circonstance grave sur laquelle il est difficile d'être bien réellement fixé. La pesanteur et notre notion instinctive de la verticale jouent un rôle fondamental dans tous les actes de notre vie physiologique. L'existence de la gravité a nécessité, chez les êtres vivants, la création d'organes destinés à les renseigner sur la stabilité ou l'instabilité de leur équilibre. Les canaux semi-circulaires de l'oreille interne paraissent jouer, à cet égard,

un rôle primordial. Leur lésion engendre de violents vertiges, particulièrement pénibles.

Lorsqu'il n'y a plus de pesanteur, lorsque l'espace est vide de tout champ de forces, quel peut être le sort des organes d'équilibre? En plein désarroi, les sensations physiologiques correspondantes doivent engendrer un malaise indéfinissable et un vertige auquel l'organisme ne saurait résister longtemps.

Aucune expérience malheureusement n'est susceptible de fournir de renseignements à ce sujet, car il est impossible, dans des expériences terrestres, de se soustraire à la pesanteur. On pourrait penser retirer quelques indications des impressions recueillies chez les parachutistes s'élançant de hautes altitudes dans le vide, pour n'ouvrir leur parachute qu'à une distance assez rapprochée du sol. Il n'en est rien, car la chute n'a l'apparence d'une chute libre que pendant un instant très court. Après une dizaine de secondes, sous l'action croissante de la résistance de l'air, la vitesse devient constante et la pesanteur reprend son plein effet.

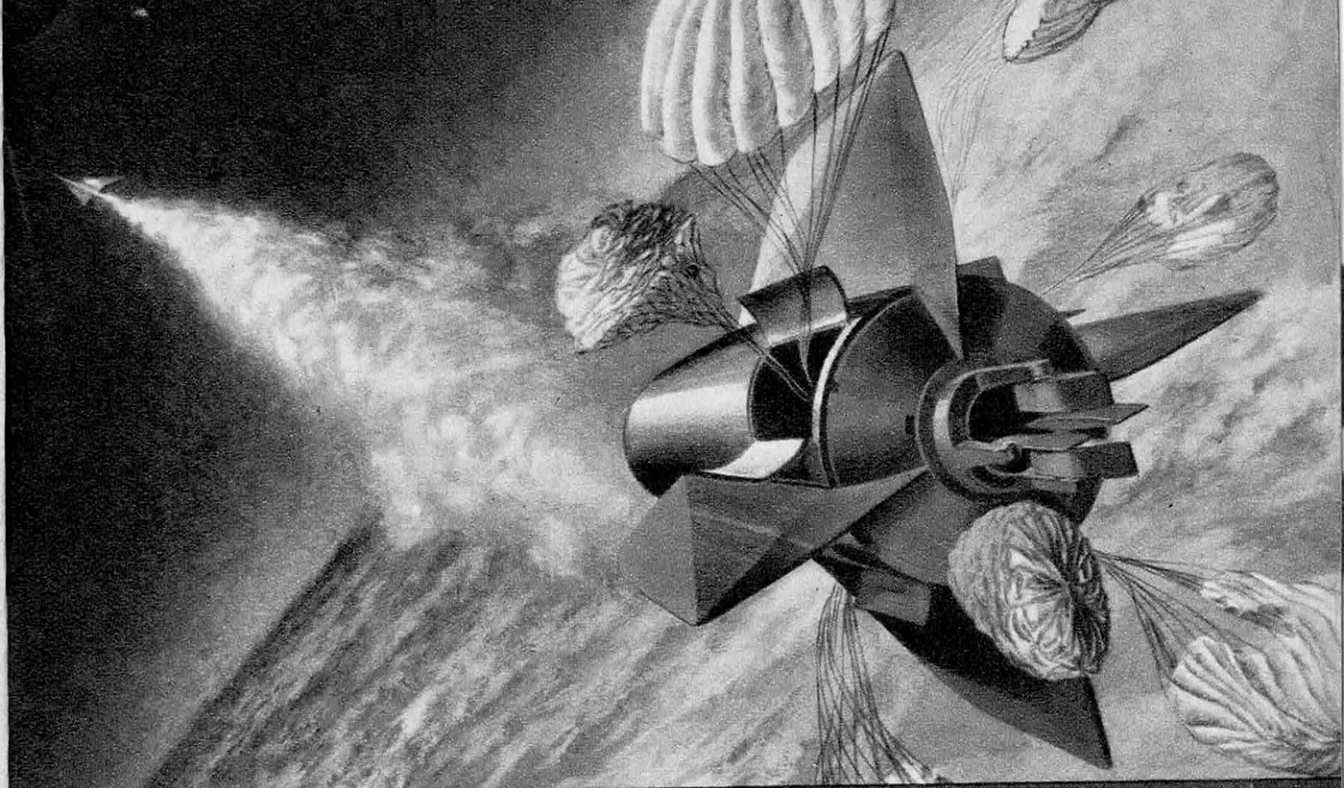
L'EXCÈS DE PESANTEUR

S'il est impossible de connaître expérimentalement les effets organiques de l'absence de gravité, par contre, on est assez bien fixé actuellement sur ceux d'un excès de pesanteur. Les aviateurs, au cours de virages exécutés à grande vitesse, sont soumis à des forces centrifuges (équivalentes à une pesanteur artificielle) pouvant dépasser très notablement la pesanteur terrestre g . Lorsque cette pesanteur, qualifiée aussi d'accélération, dépasse plusieurs fois g , lorsqu'elle atteint ou dépasse $4 g$, par exemple, apparaissent, chez l'aviateur, les « voiles noires » ou « rouges », signes précurseurs d'une syncope imminente, devenant rapidement mortelle si elle se prolonge. On a réussi à pallier dans une certaine mesure ces inconvénients, au moyen d'appareils pneumatiques enserrant le corps et s'opposant, avec quelque efficacité, aux troubles de la circulation. Des dispositifs mécaniques ont été créés, pour étudier à terre ces divers effets physiologiques. Nous n'entrons pas dans des détails à ce sujet, qui relève d'une science médicale spéciale, en étude dans les centres aéronautiques.

Quelques remarques toutefois ne paraissent pas inutiles.

Les effets observés sur un système, comportant des liaisons intérieures, proviennent du fait que les variations ou anomalies des forces extérieures auxquelles il est soumis, ou seulement certaines d'entre elles, n'affectent pas directement, également et simultanément, tous les points matériels du système (que celui-ci, du reste, soit en mouvement ou au repos); d'où, des réactions internes plus ou moins vives, par altération des forces de liaison.

Tel est le cas d'un aviateur, par exemple, serré contre son siège par la force centrifuge. Si celle-ci est modifiée, elle continue bien à agir sur tous les points de son corps, mais les forces de réaction de son siège (forcées extérieures), ou leurs variations, n'ont d'action directe que



ABANDONNANT LE PREMIER ÉTAGE DE SA FUSÉE, L'ASTRONEF S'ÉLANCE VERS LES ASTRES

Dessin de R. A. Smith

sur les éléments en contact avec lui, sans répartition uniforme sur tous les points matériels dont son corps est constitué, et qui deviennent ainsi l'objet de réactions mutuelles indirectes, par suite, de troubles plus ou moins accusés.

Il en est très différemment lorsque toutes les forces extérieures appliquées au système affectent directement, simultanément, parallèlement et proportionnellement à leur masse, toutes les molécules qui le composent. Aucun effet n'est alors observé.

Si l'on imaginait qu'un corps tombe dans le vide, en chute libre, et qu'à un instant donné, la pesanteur devienne brusquement cent fois plus grande, aucun effet ne serait constaté, malgré la très forte accélération à laquelle serait soumis le système.

Si on pouvait supposer de même que, dans un canon, la force propulsive, au départ, s'applique simultanément à toutes les molécules du système projeté, proportionnellement à leur masse, aucun effet ne serait davantage ressenti. C'est parce qu'il n'en est pas ainsi que les effets de réaction des seuls points directement atteints par les forces de propulsion sur les autres points indirectement entraînés par eux engendrent, au sein du système, des actions mécaniques plus ou moins violentes.

Ainsi doit-on établir une différence profonde entre les forces de gravitation, qui atteignent directement la matière dans son intimité la plus reculée, et les forces dynamiques qui se traduisent uniquement par de pures réactions mécaniques de contact ou de pression, des molécules les unes sur les autres. C'est la raison, en définitive, pour laquelle, à l'intérieur d'un système en mouvement sous l'action de

seules forces de gravitation, tout effet d'accélération disparaît, et qu'il n'existe plus de pesanteur apparente.

PROJECTILE AUTOPROPULSÉ

Qu'advient-il à l'intérieur d'un astronef, lorsque celui-ci est soumis à d'autres forces, en plus des forces de gravitation, à des forces de propulsion notamment?

Ici encore, une proposition fondamentale est à formuler. Une pesanteur apparente prend naissance alors à l'intérieur du système mobile, et sa définition est simple.

Si l'on désigne par R la résultante des forces (ou plus exactement la résultante géométrique des vecteurs qui les représentent) (1), appliquées à l'ensemble du système (autres que les forces de gravitation), il existe, à l'intérieur du mobile, une pesanteur apparente, de **direction**

opposée à R , et d'intensité égale à $\frac{R}{M}$, M étant

la masse du système mobile. Si la résultante est nulle, il n'y a plus de pesanteur apparente, ainsi qu'on l'a déjà vu.

Si, sous l'effet de forces extérieures appropriées, le mobile se meut en ligne droite à vitesse constante, le champ intérieur coïncide avec le champ de gravitation ambiant.

Prenons un exemple simple, celui d'un projec-

(1) Ces forces pourraient n'avoir pas de résultante unique, c'est-à-dire avec absence de couple. Nous appelons R la résultante qu'on obtiendrait, si l'on ramenait ces forces à un même point d'application, d'ailleurs arbitrairement choisi. La présence d'un couple n'aurait d'autre effet qu'une rotation du système sur lui-même.

tile d'artillerie évoluant dans l'air. Il est soumis d'une part à la pesanteur terrestre (force de gravitation) et à la résistance de l'air, **opposée à la vitesse**. Il existe donc, à l'intérieur du projectile un champ de forces (pesanteur apparente) dirigé **dans le sens de la vitesse**, égal, en intensité, au quotient de la résistance par la masse du projectile. Cette pesanteur apparente sera d'autant plus élevée que, pour une même forme de projectile et une même vitesse, la masse sera plus faible. Elle est toujours dirigée **dans le sens de la vitesse**, que celle-ci soit ascendante, descendante ou horizontale. Pour les projectiles usuels d'artillerie, elle atteint plusieurs fois la pesanteur terrestre.

Dans le projectile imaginé par Jules Verne, dans son « Voyage de la Terre à la Lune », les passagers auraient pu marcher au plafond de leur projectile, dans la traversée de l'atmosphère terrestre. Jules Verne n'avait pas d'avantage prévu, du reste, que ses passagers, après la sortie de l'atmosphère, auraient été en état de complet flottement, par absence de toute pesanteur apparente.

Prenons maintenant le cas d'un projectile ou d'un astronef propulsé. Nous avons vu qu'il règne à l'intérieur du système une pesanteur apparente égale au quotient de la force de propulsion par la masse du projectile. Si l'on exigeait d'imposer à cette pesanteur apparente une valeur comparable à la pesanteur terrestre, pour assurer à des passagers éventuels une vie physiologique normale, il en résulterait pour l'astronef une accélération totale, égale à la somme géométrique de l'accélération d'auto-propulsion et de l'accélération due au champ de gravitation. Or, loin du Soleil et du voisinage immédiat des planètes, ce champ de gravitation a une valeur très faible, comparée à la pesanteur terrestre, g . Ainsi à une distance égale à celle de la Terre au Soleil, le champ attractif solaire n'est que les $6/10\ 000$ de g . L'accélération totale serait donc, en intensité, très voisine de g et en permanence. Si la trajectoire suivie n'avait qu'une faible courbure, ligne droite par exemple, une telle condition conduirait rapidement à des vitesses prohibitives. Dans un voyage de la Terre à la Lune, on arriverait au voisinage de notre satellite avec une vitesse de l'ordre de 90 km/s , le voyage s'effectuant en 2 h 30 mn.

D'autres moyens pourraient être envisagés pour créer une pesanteur apparente à l'intérieur d'un astronef. En premier lieu, la création d'une force centrifuge par rotation du système sur lui-même, procédé difficilement praticable, car outre qu'il exigerait des vitesses de rotation assez grandes, il entraînerait une variation très rapide de la direction de la pesanteur apparente, et un défaut très marqué d'uniformité à l'intérieur du système, ce qui ne manquerait pas de provoquer des vertiges intolérables.

Une autre méthode, toujours dans l'hypothèse d'une propulsion maniable en intensité et direction, consisterait à se diriger vers le point à atteindre, non plus suivant une trajectoire à faible courbure, mais suivant une trajectoire en quelque sorte **hélicoïdale** et avec une vitesse

qui pourrait même être sensiblement constante. À une vitesse de giration de 10 km/s , il suffirait d'un diamètre de giration de $20\ 000\text{ km}$, trois fois le rayon de la Terre, pour créer une pesanteur apparente voisine, en intensité, de la pesanteur terrestre; elle serait uniforme dans l'étendue de l'astronef. Une giration complète s'effectuerait en deux heures environ, de sorte que le changement de direction de cette pesanteur serait presque insensible et peu gênant au point de vue physiologique. Quant à la vitesse de translation, parallèlement à l'axe de l'hélice, elle reste arbitraire, mais elle est importante, en ce sens que c'est elle qui permettrait de se diriger vers le but assigné.

L'APPRÉCIATION DU MOUVEMENT

Dans un astronef en état de propulsion, il serait facile d'apprécier la direction, par rapport à lui, de la force propulsive, puisque celle-ci engendre, à l'intérieur, une pesanteur apparente, directement sensible.

La direction du mouvement et la vitesse de l'astronef constitueraient, par contre, des éléments de détection plus difficiles par l'absence de points immédiats de comparaison. Sans doute aurait-on la vision des astres, mais relativement si éloignés que les changements de perspective seraient trop lents pour servir d'éléments d'appréciation. Seules, la Lune et la Terre, si on n'en restait pas trop distant, et, à un degré moindre, les planètes et le Soleil, pourraient être utilisés, si l'on demeurait dans leur voisinage. Leurs diamètres apparents et leurs directions dans le ciel pourraient seuls être employés pour la détermination de la position de l'astronef dans l'espace et, par leurs variations, de celle de sa vitesse.

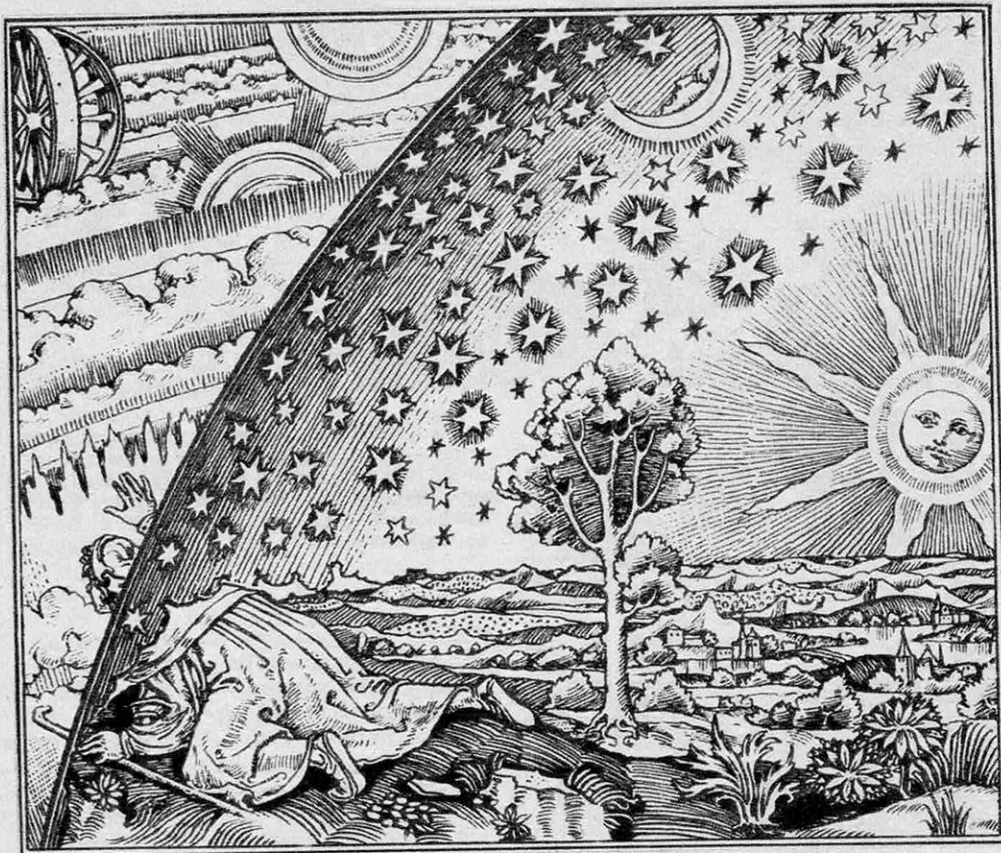
Les progrès dans l'emploi du radar pourraient faciliter ces opérations qui demeureraient néanmoins d'une application lente et assez peu précise. Ces circonstances ne seraient pas de nature à faciliter la navigation astronomique, même en supposant réalisées, par ailleurs, toutes les conditions mécaniques appropriées.

Tout cela montre, sous l'aspect particulier examiné ici, parmi tant d'autres, les multiples difficultés que pourrait comporter la navigation astronomique. Par surcroît, une telle navigation, dans des domaines si différents de ceux assignés à notre existence normale, constituerait un dépaysement si extraordinairement démesuré qu'on peut se demander si le moral et la raison des passagers qui s'y seraient aventurés, ne sombreraient pas dans un abîme d'angoisse et d'épouvante.

Peut-être pourra-t-on, dans un avenir pas tellement éloigné, lancer des projectiles sur la Lune. Quant à y transporter des passagers humains sur des navires interplanétaires, en y assurant des conditions compatibles avec leur existence, il y a là un fossé profond qui, sans doute, n'est pas près d'être comblé.

Ernest Esclançon

Directeur honoraire de l'Observatoire de Paris.
Membre et ancien Président de l'Académie des Sciences.



● L'astrologie, les contes fantastiques, puis l'astronomie et les spéculations des astronautes

sont tous nés de la curiosité humaine, naïvement exprimée par cette gravure du XV^e siècle.

L'ASTRONAUTIQUE

Les étapes d'une science nouvelle

COMME l'Astronomie, l'Astronautique naquit de la contemplation du ciel. Mais alors que l'Astronomie fut, durant des millénaires, l'apanage des hommes de science (ou du moins de prétendue science lorsqu'il n'était question encore que d'astrologie), l'Astronautique fut le domaine des poètes, des rêveurs à l'imagination féconde.

Loin de se contenter d'une sage et sereine contemplation des astres, ils ne songeaient à rien de moins qu'à s'y transporter en personne ou d'y conduire leurs héros. De là, la profusion de légendes et de contes qui sont pour nous comme autant de témoignages précieux de cet insaisissable rêve.

LA PRÉASTRONAUTIQUE

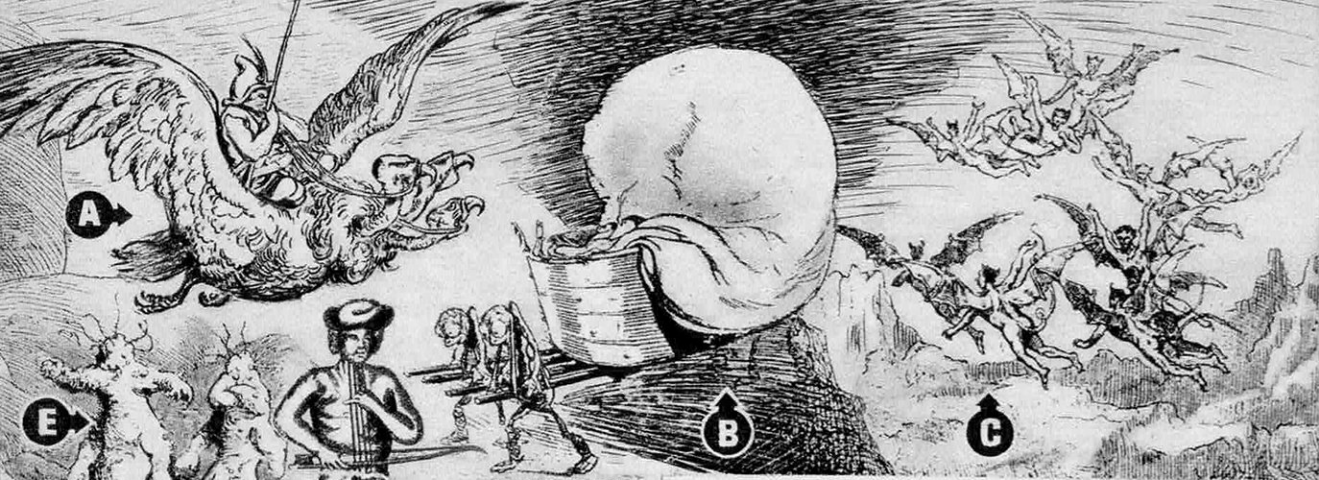
Nous n'énumérerons pas toutes leurs élucubrations. Ne soupçonnant même pas qu'il pût

exister des lois pour régir les mouvements des astres et leur constitution physique, ils s'abandonnaient librement à leur imagination.

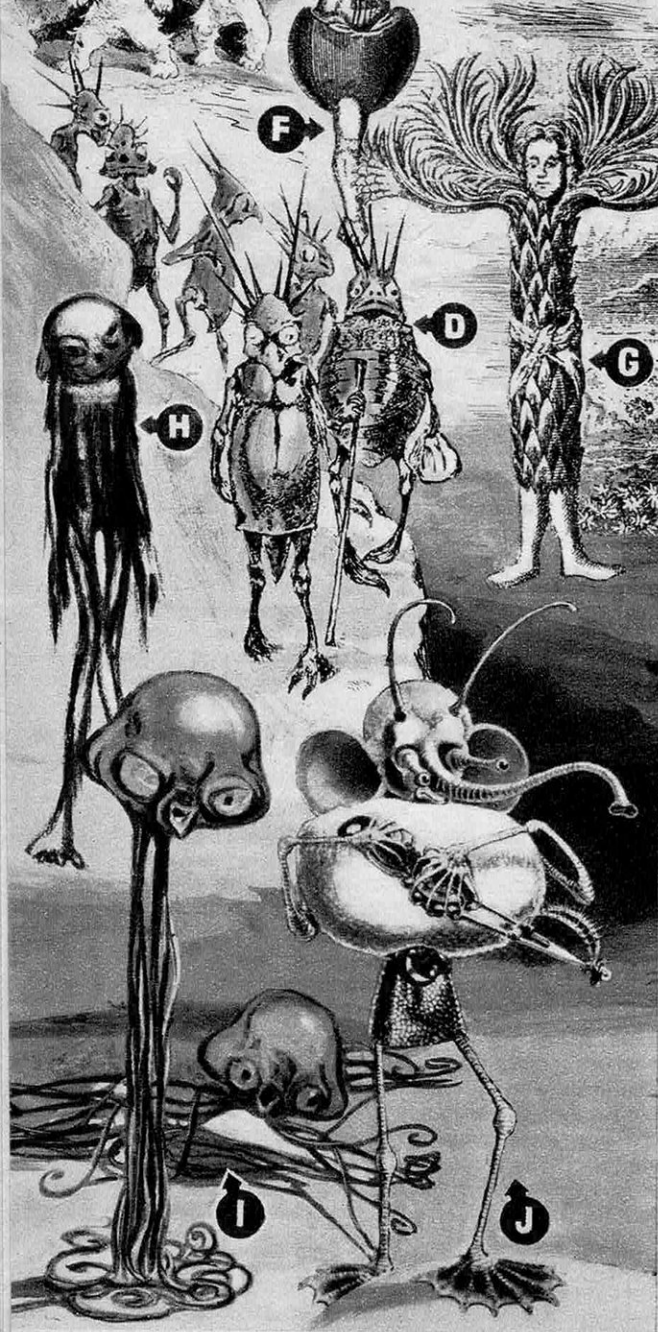
Ce que nous retiendrons de plus intéressant, ce n'est pas tant la description des mondes lointains que les procédés imaginés pour s'y transporter.

Si le roi Etam, qui vécut vers 3200 ans av. J.-C., si les « yoghis », dont parle le « Bhâgavata », si les âmes décrites dans les Védas ou le Râmâyana pour la randonnée céleste se contentent, sans aucune originalité, de recourir à des forces surnaturelles, bien d'autres proposent des solutions inattendues, parfois plaisantes.

Ainsi le peuple Maya, pour éviter une chute au Dieu qui venait le visiter, fit pendre du haut des cieux un fil d'araignée ; un prince persan chevaucha une monture de bois ; et le mandarin Wan-Tou, voire même les Atlantes, semblent avoir utilisé la « réaction », le premier pour



● Représentations fantaisistes des indigènes des autres astres : sur la Lune, dans le Baron de Münchhausen (A), savant (B) et guerriers (D) d'après Wells, d'après le faux Herschel (C); sur Vénus, d'après Graffigny (E); sur Mercure, gravure du XVIII^e s. (F) et Goldberg (G); sur Mars, d'après Wells (H et I) et Hugo Gernsback (J).



s'élever dans les airs, les seconds pour échapper à la destruction de leur île.

Les Grecs songèrent à des aigles affamés stimulés par un appât fixé à un bâton ; Hérodote nous parle de la flèche. C'est encore grâce aux ailes d'un aigle et d'un vautour que Ménéippe accède aux sphères célestes. Lucien de Samosate, prenant prétexte d'une tempête, transporte sur la Lune un vaisseau avec tout son équipage.

N'omettons pas de citer Mahomet utilisant une jument à tête de femme ; Astolfo, le célèbre héros du Roland Furieux, chevauchant l'hippogriffe ; enfin les délicates légendes finnoises qui nous content le vol d'une abeille vers le Soleil.

Au XVII^e siècle, Képler, puis Kirscher, trouvent plus simple de recourir au rêve. Quant à Goodwin et Grimmelhauser, à quelques années d'écart, ils songent à un équipage d'ois sauvages, chargées de remorquer un bâton sur lequel le voyageur prend place.

Certes, ces récits ne sont qu'un tissu de fantaisies, mais il n'en est pas moins vrai que le XVII^e siècle, par la découverte de la lunette, ouvrait des horizons jusque-là insoupçonnés sur les autres terres du ciel, ce qui suscita chez de nombreux auteurs le désir de transposer le rêve impossible en rêve plausible.

LES PRÉCURSEURS DE L'ÈRE ASTRONAUTIQUE

A partir de cette époque les récits de voyages vers les planètes sont étayés par des données plus scientifiques, et on préfère dans bien des cas recourir à la mécanique, science qui vient de naître, plutôt qu'à des interventions surnaturelles.

Après Wilkins qui, en Angleterre, fait paraître deux importants volumes sur « Les nouvelles considérations sur les planètes », Cyrano de Bergerac publie en 1649 son « Voyage dans la Lune ». Sa gasconnade érudite étale sous nos yeux divers moyens empruntés à la physique

de son temps, grâce auxquels il espère quitter la Terre.

C'est d'abord l'usage vraiment prophétique de fusées, ensuite de fioles de rosée dont Cyrano charge son corps et qui, en s'évaporant, lui permettent de s'élever dans les airs. Puis il recourt à la moelle de bœuf pour laquelle on attribuait à notre satellite une prédilection toute particulière. Il songe aussi à faire le vide dans un coffre de cèdre, puis à emplir de fumée une sphère, devant Mongolfier de plus de cent ans. Il en arrive à proposer un plateau de fer sur lequel il prend place et qu'il fait avancer un projetant devant lui un aimant. Enfin il recourt au phénomène des marées.

Jamais gasconnade ne fut plus profitable à l'Astronautique. Les récits se multiplient sur le sujet. Le génial Newton, poussé sans doute dans cette voie par les récits de Cyrano, envisage la réalisation d'un navire cosmique mù par réaction ; Kindermann propose le plus sérieusement du monde la création d'un gigantesque ballon « empli » de vide, capable de transporter cinq personnes non plus sur la Lune, jugée sans doute trop fréquentée, mais sur l'un des satellites de Mars. Et, vers la fin du XVIII^e siècle, un récit nous conte l'histoire de Mercuriens venant nous rendre visite dans des engins mus par l'électricité.

Le XIX^e siècle et le début du XX^e siècle, qui préparent l'ère de l'Astronautique, nous montrent des auteurs en proie à une véritable « psychose cosmique », rivalisant de zèle et d'imagination. En dépit de la profusion des écrits, les moyens auxquels ils recourent se limitent à une dizaine. Rappelons-les brièvement.

La matière, à laquelle on attribuait une polarité positive ou négative, selon qu'elle est supposée perméable ou non à la gravitation, est proposée par quelques auteurs. En 1901, Wells imagine la **cavorite**, capable, dit-il, de soustraire à l'attraction universelle tout corps qui en est enduit. Cette hypothétique et précieuse matière lui permet de concevoir un engin constitué exclusivement de fenêtres pouvant être masquées par des stores qui en sont enduits. Pour se déplacer à sa guise dans l'espace cosmique, il suffit de démasquer l'une des fenêtres pour être immédiatement attiré dans la direction désirée. L'idée n'est pas nouvelle puisqu'en 1852, le Dr Cathélineau recourait déjà à un tel procédé et qu'Alexandre Dumas parlait d'une substance mystérieuse « repoussée par la terre »

Lasswitz (1897) envisage un écran « négatif » susceptible d'être repoussé vers l'espace par une pluie atomique d'origine cosmique et venant le frapper après avoir traversé la terre. A. Galopin (1908) nous parle de la **répulsite**, substance aux propriétés merveilleuses, dont la découverte était due au Dr Oméga.

Et Bagdanov (1908) non seulement découvre, mais parvient à conserver les « éléments » repoussés par les corps célestes.

La « force vibratoire de l'éther », l'utilisation de rayonnements inconnus et même l'action supposée de l'esprit sur la matière inspirèrent

des auteurs qui voulaient à toute force asservir une science balbutiante et délirante à leurs ambitions astronautiques.

Ainsi, Krijanowsky (1910) trouve le moyen de décomposer et de regrouper les atomes de la matière et d'amplifier leur « action » par la pensée.

Arelsky (1925) prête aux Martiens le pouvoir de créer l'**aérolisole**, sorte de planète en « modèle réduit », pourvue d'une atmosphère et dirigée par une énergie puisée dans le soleil.

Gontcharov (1924) met en conserve les rayons solaires après les avoir pressés, condensés et versés dans des ballonnets.

G. Le Rouge (1927) songe à un condensateur d'énergie fourni par la concentration de la pensée de tous les fakirs de l'Inde ! L'engin lancé par ce procédé peu commun devait se composer de trois enveloppes fabriquées respectivement en acier vanadié, en carton d'amiante et en bois où l'on aurait injecté des substances ignifuges.

Enfin, n'omettons pas de citer E. R. Burroughs (1938) qui comptait utiliser lui aussi une « volonté puissante autant qu'irrésistible ». Son engin « électrique » est offert à la curiosité des lecteurs, sans les satisfaire totalement, car l'auteur ne croit pas devoir fournir — et pour cause — le moindre détail technique. On ne trouve tout au plus que des dispositifs « fantastiques », des substances « extraordinaires » et bien entendu des méthodes d'application secrètes.

Krijanowsky (1903) conseille à son astronaute de suivre un régime alimentaire spécial avant d'« électriser » son corps. Il songe encore à « tendre » entre Mars et la Terre une « onde électrique » le long de laquelle se déplacerait la fusée cosmique.

C'est l'utilisation d'un chemin impondérable constitué par le « spectre solaire » qui permet à Mihaéliss (1921) de se transporter sur Mars. D'ailleurs, ce spectre peut être, au gré de l'auteur, renforcé par le spectre du radium !

Enfin, Astor suggère un « électro-repulsor », sur lequel il garde le secret le plus entier.

Les progrès prodigieux réalisés dans le domaine de la radio ouvrent aux romanciers d'anticipation des horizons nouveaux, mais les notions nouvelles sont trop souvent mal assimilées et sources de confusions.



● Caricature anglaise, du début de ce siècle, sur le vol à réaction.

Certains, tel N. Rynine (1924) veulent utiliser cette « force » nouvelle et Oscar Hoffmann propose de doter son navire cosmique d'un réflecteur parabolique neutralisant l'attraction terrestre.

Mais Gorcha, en 1928, dépasse tout ce qu'une imagination déréglée peut enfanter, en inventant un certain « rayon R » qui lui permet de transporter les objets au moyen de la radio, non seulement d'un point à un autre, mais d'une planète à une autre.

En 1873, les travaux sur la pression de radiation ne manquent pas d'inspirer quelques romanciers tels Faure et Craffigny (1889), en France, et Krasnogorsky (1913), en Russie.

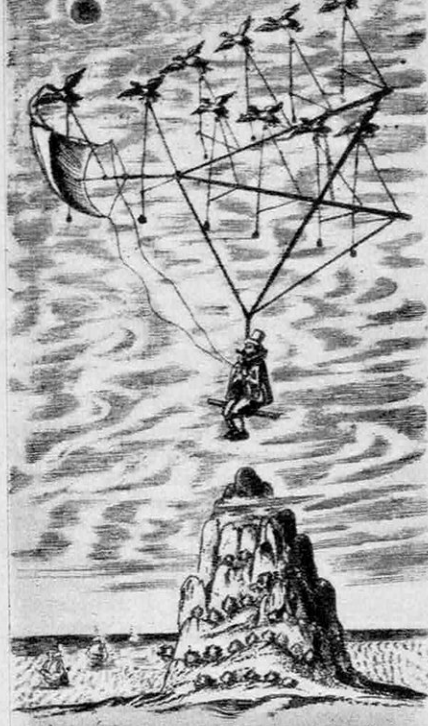
Il s'agit généralement d'engins pourvus d'un immense disque, servant de voile que les rayons solaires repoussent vers l'infini.

Un certain nombre d'auteurs recoururent à la **réaction** pour propulser, à la suite de Cyrano, leurs engins dans l'espace.

On sait aujourd'hui que c'est le seul procédé pratiquement utilisable. Ils étaient donc dans la bonne voie, et pourtant ils n'eurent que peu d'influence sur l'évolution des idées en matière d'aéronautique.

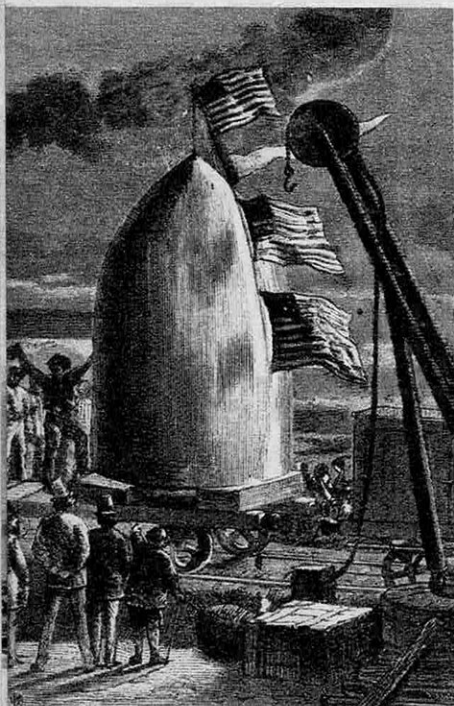
C'est à Jules Verne, avec son canon, que nous devons de voir transposer en 1865 le problème dans le domaine du plausible, à défaut du possible, par la maîtrise de son exposé et surtout par la sûreté de son raisonnement, pseudo-scientifique sans doute, mais d'une logique qui semblait à l'abri de toute critique.

Toutefois, avant d'approfondir cette question, il est bon



GONZALÈS S'ENVOLE VERS LA LUNE

GONZALÈS remorqué par 10 oies sauvages, met 11 jours pour atteindre la Lune (« Un homme dans la Lune », Goodwin, 1638).



LES PRÉPARATIFS DU VOYAGE



L'OBUS ET SA CABINE CAPITONNÉE



L'OBUS S'ÉLANCE VERS LA LUNE

JULES VERNE a le premier essayé dans « Voyage de la Terre à la Lune » et « Autour de la Lune » de faire un récit

plausible d'un voyage extra-terrestre. Pour cela il ne met en œuvre que des techniques connues, « extrapolant » au voyage Terre-Lune les connaissan-

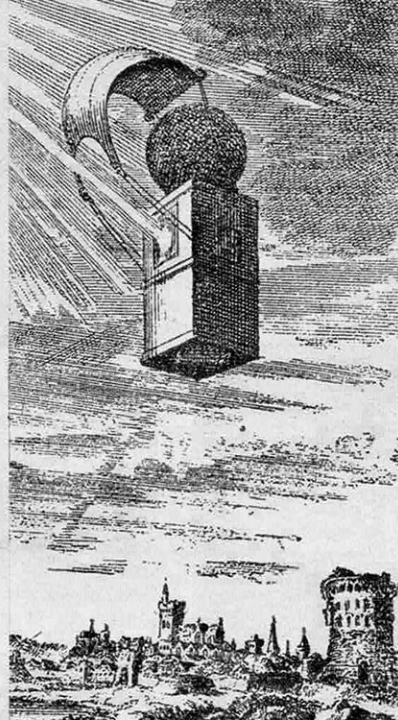
ces de son temps en balistique. Malgré un grand nombre de détails exacts et malgré les calculs qui semblent donner à ses romans une base scientifique



CYRANO ENTOURÉ DE FIOLES DE ROSEÉ

CYRANO DE BERGERAC

dans son « Voyage dans la Lune » (1649), que ses contemporains ne



BOITE ET VAISSEAU DE CRISTAL

considèrent que comme une mordante satire, fit appel à divers moyens inspirés des connaissances physiques de l'époque. A maints égards il peut faire



CYRANO DEVANT LES JUGES SÉLENITES

figure de précurseur, comme lorsqu'il conçoit une « sauterelle » mue par « feux successifs de salpêtre », où l'on peut voir une anticipation de la fusée.



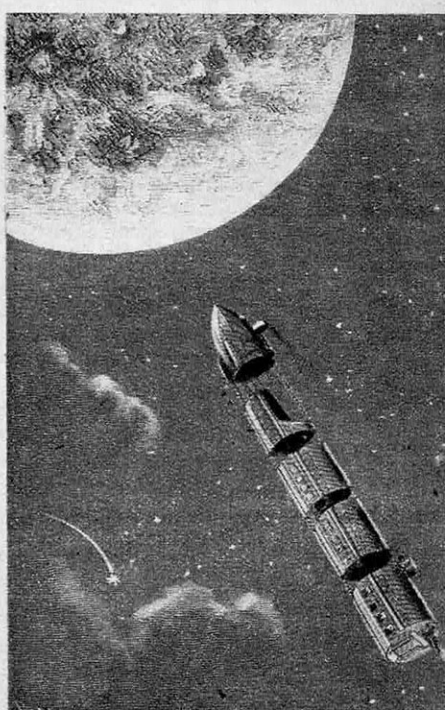
LA PESANTEUR S'EST ANNULÉE

indiscutable, J. Verne, qui n'a pas pensé à propulser son engin par fusée, a été forcé de tricher avec la mécanique. En particulier, les passagers de son



L'ARRIVÉE DE L'OBUS SUR LA LUNE

obus eussent été tués trois fois : au départ du coup, à la traversée de l'atmosphère et au retour sur la Terre. A droite, un train de projectiles se

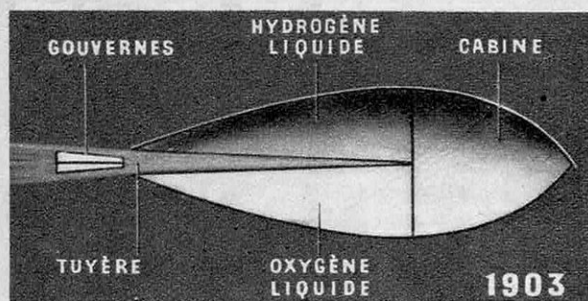


UN " FUTUR " TRAIN TERRE-LUNE

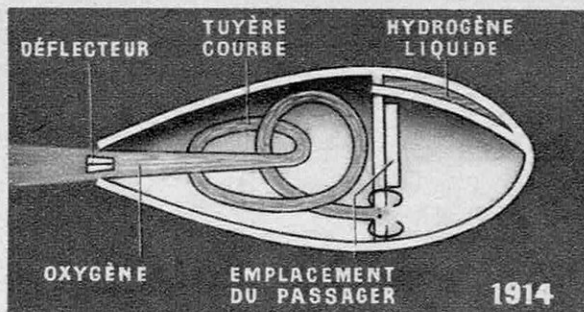
dirigeant vers la Lune nous montre que l'imagination la plus fertile ne fait jamais que recombinaison dans un roman les éléments que lui fournit la réalité.

LES CONCEPTIONS DE TZIOLKOWSKY

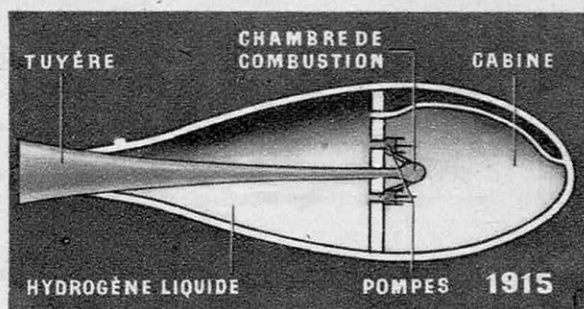
Si on ne saurait dénier à Jules Verne le mérite d'avoir éveillé par ses anticipations l'intérêt du grand public pour l'astronautique, c'est au Russe C.-E. Tziolkowsky qu'il faut attribuer celui d'avoir transposé dans le domaine scientifique les conceptions souvent hasardeuses du génial romancier. On lui doit le premier projet sérieux de fusée interplanétaire, dressé dès 1903 ; c'est lui qui imagina l'emploi de déflecteurs de veine, placés sur le parcours du jet gazeux à l'échappement



pour diriger l'astronef, qui lança l'idée des mélanges combustibles liquides, qui préconisa l'alimentation par pompes et le freinage aérodynamique par l'atmosphère pour réduire la vitesse des fusées au cours d'un vol d'atterrissage en spirale, etc. Les croquis ci-joints montrent l'évolution des conceptions de Tziolkowsky en matière d'astronefs. Le premier projet de 1903, très profilé, comporte à l'avant une cabine où l'auteur envisageait déjà la présence éventuelle d'un pilote. Hydrogène et oxygène liquides, fournissant par leur réaction l'énergie propulsive, étaient stockés dans des réservoirs de part et d'autre d'une tuyère évasée pour



la refroidir. Sur ce premier modèle nous trouvons déjà les dispositifs devenus classiques de direction de vol par gyroscopes et déflecteurs de veine. En 1914, Tziolkowsky adopte une tuyère formant plusieurs boucles convenablement orientées, espérant obtenir un effet gyroscopique par le déplacement rapide des gaz dans ces boucles. L'oxygène circule dans une double paroi de l'enveloppe extérieure et de la tuyère. Il pense préserver le pilote du « choc » au départ en l'immergeant,



de rappeler ici le nom de quelques imitateurs du génial romancier. H. de Parville (1865) met à profit une éruption volcanique pour projeter depuis Mars un aérolithe portant un habitant. En 1889, Faure et Graffigny, considérant l'énergie de la poudre comme insuffisante, recourent au même procédé pour faire partir de Terre un obus pourvu de tout le confort. En 1898, Wells songe à la même formule pour faire envahir la Terre par les Martiens : ils arrivent dans un obus cylindroconique de 26 m de diamètre.

Cependant, parmi tous les procédés, c'est finalement sur la réaction que se porte la majo-

rité des suffrages. Aussi les ouvrages sur ce mode de propulsion sont-ils particulièrement nombreux au XX^e siècle.

Leur énumération ne nous apporterait d'ailleurs aucun élément intéressant. Soulignons toutefois — car c'est en cela que réside le mérite de ces écrits — que l'imagination des auteurs permit bien souvent d'orienter les recherches vers une voie nouvelle.

De tous, Rosny Aîné fut le plus remarquable « chantre » de la navigation cosmique et son mérite est grand d'avoir légué aux générations de chercheurs le nom « Astronautique », sous lequel tous les peuples du monde désignent aujourd'hui la nouvelle science des voyages extra-terrestres.

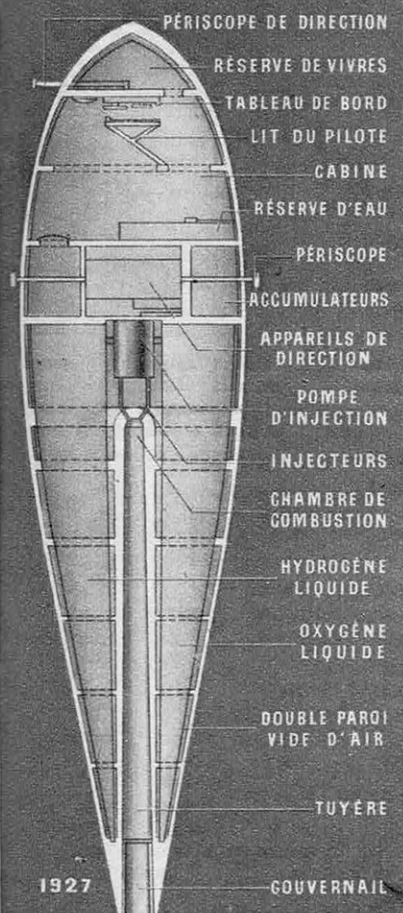
Aujourd'hui, mieux encore que des romans, le film permet de porter à la connaissance d'un large public les préfigurations des randonnées dans l'espace : « Le Voyage dans la Lune » du Français Méliès (1902) ; « La Femme dans la Lune » (1929), « Things to come » (1937), « Weltraumschiff-1 Start » (1941), « Croisière Sidérale » (1942), enfin, plus près de nous « Destination Lune » (1950), « 24 Heures chez les Martiens » (1950), « Le Choc des Mondes » (1952).

Certes, la plupart du temps ces films faussent comme à plaisir la vraisemblance scientifique et la couleur triomphe toujours au détriment

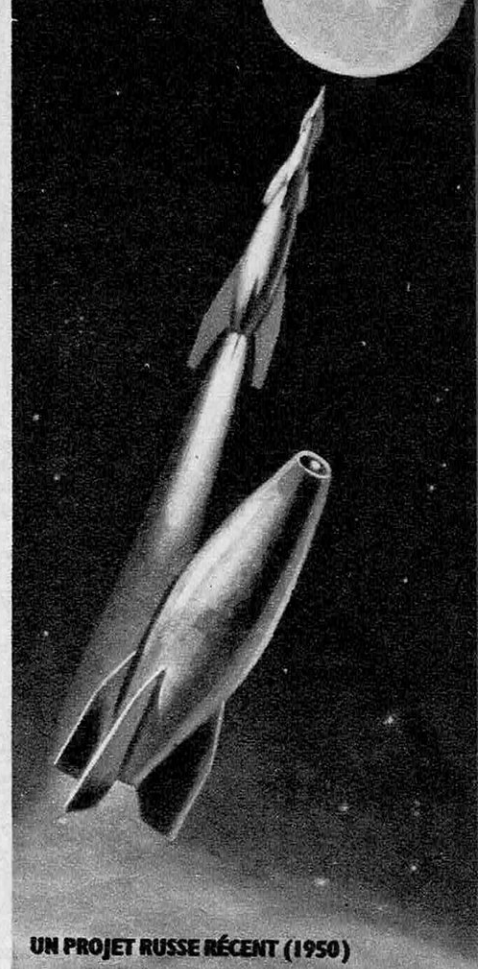


LE RUSSE TZIOLKOWSKY

Konstantin Edouardowitch Tziolkowsky est né le 17 septembre 1857, à Yjewsk, et est mort le 10 septembre 1935, à Kaluga. Ce savant, qui fut le type parfait de l'autodidacte, consacra toute son existence à l'astronautique dont il fut un des plus ardents théoriciens. Ses idées, exploitées dans le monde entier, y suscitèrent de nombreuses vocations.



revêtu d'un scaphandre, dans un bac rempli d'un liquide qui sera vidé au cours du vol. En 1915 apparaissent les pompes pour l'injection des liquides dans la chambre de combustion. En 1927, une nouvelle fusée astronautique de Tziolkowsky est décrite par son disciple Scherschevsky, avec quelques détails originaux : double paroi isolante où l'on fait le vide, pilote couché pour mieux supporter les accélérations, périscope pour l'observation du monde extérieur. Une variante plus perfectionnée a été publiée en 1929. S'il faut en croire Tziolkowsky, lui-même, aucune expérience pratique ne fut entreprise en Russie avant la Révolution, en dépit du caractère vraiment prophétique de certaines de ces conceptions. C'est seulement en 1926 que l'Américain Goddard fit voler aux Etats-Unis la première fusée à liquides, démontrant l'exactitude des vues formulées par K. E. Tziolkowsky quelque 23 ans plus tôt. Aujourd'hui les techniciens soviétiques poursuivent sur une grande échelle l'étude de la propulsion par fusée et de ses applications. La revue « Mouvement Réactif » du Prof. Tihonrowov montre par son volume, plus peut-être que par sa diffusion, assez restreinte, l'intérêt que les dirigeants de l'Union Soviétique portent à ces problèmes.



de l'exactitude. Qu'importe, le public grâce à eux découvre l'existence d'une branche nouvelle de l'activité humaine ; libre à lui par la suite, pour peu qu'il le désire, d'approfondir et du même coup corriger non sans profit les erreurs commises par les cinéastes

LA NAISSANCE DE LA SCIENCE ASTRONAUTIQUE

Tantôt devançant de plus ou moins loin les progrès de nos connaissances scientifiques et techniques, tantôt les suivant pas à pas, l'idée de la navigation cosmique a fait son chemin ; elle s'est implantée peu à peu dans les esprits, elle s'impose et s'affirme de jour en jour. Le voyage à la Lune, dont savants et techniciens discutent sérieusement, que décrivent de nombreuses publications et que le film matérialise sous les yeux d'un public ébahi, n'est plus tenu pour une impossibilité et le profane en attend en toute confiance la réalisation à échéance relativement proche.

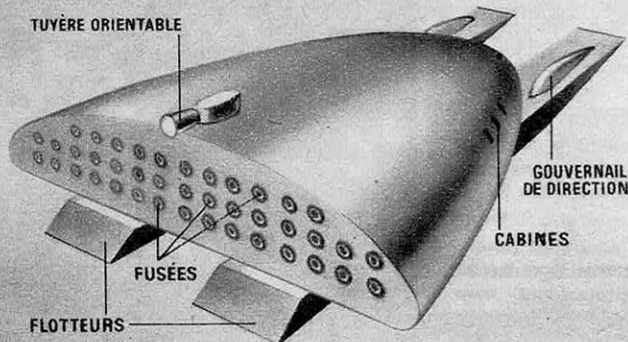
Les spéculations astronautiques ont trouvé leur premier stimulant dans le célèbre roman de Jules Verne. Quelques esprits critiques s'attachent à démontrer que Jules Verne prêchait faux, que son canon de 300 m de long était impossible à réaliser, que le choc initial aurait désintégré les passagers, que la vitesse de

16 km/s (fixée par Jules Verne lui-même) n'aurait pu être atteinte à la sortie du canon et cela pour deux raisons majeures : une résistance atmosphérique considérable, et l'impossibilité pour la poudre de chasser devant elle un obus à une vitesse que ne peuvent atteindre les molécules des gaz que dégage sa combustion. Nous ne parlerons même pas de l'inflammation de l'obus retransversant l'atmosphère à son retour sur la Terre, et de son anéantissement à l'impact.

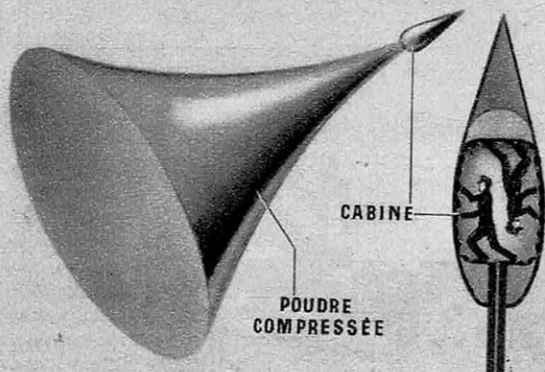
Que fallait-il donc faire ? Quelles règles satisfaire pour réaliser le voyage dans la Lune, puisque le canon se révélait impraticable ? A cela, les mêmes critiques répondirent nettement : partir à faible vitesse initiale ; disposer d'un engin ayant une autonomie de vol absolue, capable de diminuer ou d'accroître sa vitesse selon les besoins, et en outre de se déplacer dans un espace vide d'air.

Or un seul moyen permettait de satisfaire ces exigences : c'était la **fusée**.

Aussi, quelques années plus tard (1875), Leterrier, Vanloo et Mortier ne manquent-ils pas, dans une de leurs pièces intitulée « Le Voyage dans la Lune », de conclure, à la suite d'une discussion orageuse entre astronomes, qu'il « n'est pas impossible que le voyage soit possible, mais qu'il est possible qu'il soit impossible ». Cette boutade n'empêche pas, en 1891, l'Académie des Sciences d'accepter le



FRANTZ VON HOEFFT conçoit 8 modèles d'engins dont cet astronef de 32,5 m de long, 100 m² de surface portante et qui devait peser au départ 600 tonnes. Le lancement devait avoir lieu de la surface de l'eau.



WALTER HOHMANN, en 1925, proposa cette fusée de 37 m sans enveloppe (considérée comme poids mort). A la partie inférieure, de la poudre compressée (1,5 t par m³); cabine à la partie supérieure.

patronage du prix Pierre Guzman, d'un montant de 100 000 francs réservé à " la première personne qui trouvera le moyen de faire communiquer la Terre avec un astre ".

L'idée de la fusée est désormais ancrée dans les esprits ; on ne peut plus considérer comme sérieux les écrits qui n'en parlent pas.

En 1896, l'écrivain russe A.-P. Feodoroff fait paraître les « Nouveaux principes de la Navigation interplanétaire ». Cet ouvrage, en dépit d'une indéniable fantaisie, éveille chez K.-E. Tziolkowsky un grand intérêt pour la navigation cosmique. Dès 1903, il propose une fusée interplanétaire, qui sera révolutionnaire à plus d'un titre, puisqu'elle doit fonctionner grâce à un mélange liquide (oxygène et hydrogène) et qu'elle comprend une cabine pourvue d'un dispositif pouvant absorber le gaz carbonique produit par la respiration des passagers, une tuyère évasée (genre Laval), et des gouvernes placées sur le parcours du jet gazeux (déflecteurs de veine). Enfin, sa forme aérodynamique est des plus heureuses.

LE DEVELOPPEMENT DE L'ASTRONAUTIQUE

La Russie et la France se partagent l'honneur d'avoir été les premières nations à jeter les bases de l'Astronautique, d'avoir montré par quelques théories géniales la voie dans laquelle

devaient s'engager les inventeurs, s'ils voulaient aboutir à des résultats concrets.

Après Tziolkowsky, c'est notre compatriote A. Bing qui, le 10 juin 1911, prend un brevet pour un « appareil destiné à permettre l'exploration des hautes régions de l'atmosphère, si raréfiée que soit cette atmosphère ». Le libellé de ce brevet nous révèle l'importance des fusées composées ; et surtout, un raisonnement des plus instructifs sur le rapport de masse fait intervenir l'énergie nucléaire.

Quelque temps plus tard, le 15 novembre 1912, Robert Esnault-Pelterie, à la Société Française de Physique, dans ses « Considérations sur les résultats d'un allègement indéfini des moteurs », expose ses vues sur l'Astronautique, non sans avoir pris les précautions oratoires indispensables afin de ne pas heurter de front ceux — et ils sont nombreux — pour qui l'Astronautique n'est qu'une utopie.

En 1914, puis en 1915, Tziolkowsky, décidément accroché à son projet, perfectionne sa fusée. Il adopte la forme en goutte d'eau, installe un gyroscope pour la stabilité, aménage des pompes, fixe à 30° l'évasement de la tuyère, et, pour permettre au pilote de supporter éventuellement les effets néfastes d'une forte accélération, propose de le coucher (détail particulièrement prophétique, car ce n'est que quelque 20 ans plus tard que Diringshofen déterminera expérimentalement que cette posi-



ROBERT H. GODDARD

Né à Worcester, aux Etats-Unis, le 5 octobre 1882, Robert Hutchings Goddard est mort le 10 août 1945. Dès 1909, il étudia les fusées à poudre, puis, à partir de 1920, les fusées à liquides. C'est alors qu'il songea à extrapoler les résultats acquis pour les appliquer à l'astronautique. C'est en 1919 qu'il publia son important ouvrage : « Méthode pour atteindre les altitudes extrêmes. »



R. ESNAULT-PELTERIE

Né à Paris le 8 novembre 1881, Robert Esnault-Pelterie s'illustre dès 1900 par ses recherches en aéronautique. En 1912, il se tourne vers l'astronautique, mais c'est de 1927 à 1934 que son activité y est la plus efficace. Il fonde avec A. Hirsch un prix dont le premier lauréat fut le Roumain Oberth. En 1930, il prévoit le voyage à la Lune dans 25 ans et évalue son coût à 2 millions de dollars.

tion est la plus favorable pour l'homme durant les fortes accélérations).

En 1915, le Russe Perelmann édite son ouvrage « Les voyages interplanétaires », remarquable travail de vulgarisation dans lequel l'auteur, par quelques expériences courantes de laboratoire, démontre les diverses périodes du vol cosmique.

La guerre de 1914-1918, qui voit réapparaître sur le front russe les fusées de Makhonine et sur le front français les aviateurs-fuséens, influe sans aucun doute sur les travaux des années suivantes, notamment sur ceux de Goddard en Amérique, de R. Esnault-Pelterie en France, d'Oberth en Allemagne.

Ainsi, en 1920, R. Esnault-Pelterie peut affirmer que les vitesses d'éjection réalisables permettent de considérer comme presque résolu le problème du rapport de masse.

La même année, Goddard abandonne ses expériences sur les fusées à poudre et passe à l'étude des mélanges liquides, plus propres, d'après lui, à permettre la réalisation du voyage Terre-Lune.

C'est encore au cours de la même année que l'ingénieur russe Sander, après une conférence sur la navigation cosmique, reçoit de Lénine qui y assistait une subvention pour ses recherches, et que Tziolkowsky, émet le projet d'une planète artificielle.

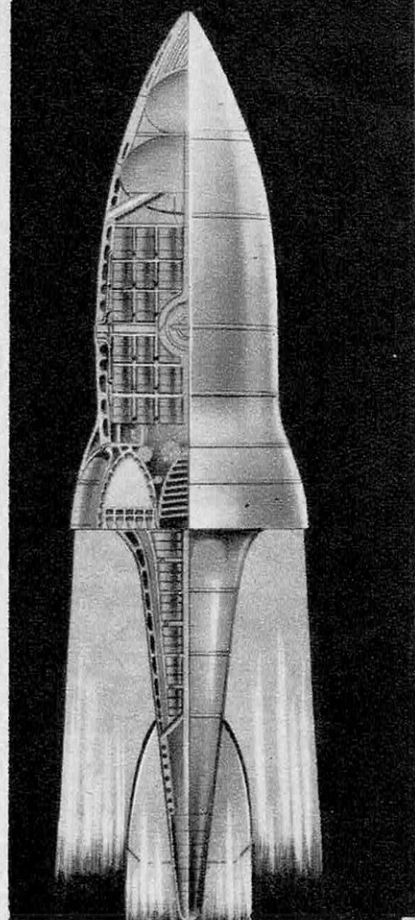
En 1923, l'ingénieur roumain H. Oberth (qui par la suite devait opter pour la nationalité allemande), dans un traité devenu classique, décrit en détail son astronéf fonctionnant grâce à un mélange liquide, le même que celui que préconisait dès 1903 Tziolkowsky. Il donne en outre un schéma très complet d'une fusée expérimentale gigogne qui, déjà, présente à l'état embryonnaire les principales caractéristiques de la fusée précosmique V-2.

En mars 1924, le Professeur V.-P. Wetschinkine fonde à Moscou une « Commission pour les communications interplanétaires » (qui très vite devient un organisme officiel). L'année suivante, l'Allemand Hohmann s'efforce de déterminer les caractéristiques de la fusée idéale et, pour la première fois, ose indiquer des itinéraires cosmiques, traçant les parcours les plus avantageux et fixant la durée de ces parcours. On se trouve alors à la limite des possibilités du moteur-fusée, ce qui pousse Hohmann à limiter ses parcours aux planètes les plus voisines et en chute libre seulement comme étant les plus économiques.

La même année, Max Valier publie son ouvrage « Der Vorstoss in den Weltraum », tandis qu'en Amérique, Goddard, soutenu par Daniel Guggenheim, procède à Auburn, non sans succès, au premier lancer d'une fusée à liquide. Cette expérience, plus que n'importe quel plaidoyer enflammé, permet d'asseoir sur des bases solides les propositions formulées précédemment sur l'Astronautique. La presse, passant dans le camp des partisans les plus fanatiques, ne cessera dès lors d'apporter son précieux appui à la cause de la navigation

NAVIRE VOLANT DE MAX VALIER

L'Allemand Max Valier fit de nombreuses recherches sur la propulsion des engins par fusée. Se basant sur les études de Hermann Oberth, il projeta aussi, en 1925, la réalisation d'une fusée cosmique (dessin ci-contre) qui comprenait huit chambres de combustion et autant de tuyères disposées autour de l'astronéf. Plus de 80 % du volume total était occupé par les nombreux réservoirs à oxygène et hydrogène liquides, qui étaient répartis autour des commandes du gouvernail de direction. Dans le cône d'attaque de la fusée, deux cabines, reliées par une étroite échelle, étaient prévues pour les astronautes et ce qu'ils devaient emporter. Dans la tête de la fusée, Valier avait installé un parachute qui devait être utilisé pour le retour sur notre planète.





HERMANN OBERTH

Hermann Oberth est né à Hermanstadt, le 25 juin 1894. Très tôt, il s'intéresse à la médecine, à la physique et à l'astronomie, puis à l'astronautique. Son premier ouvrage en cette matière, considéré comme un classique, paraît en 1923, il traite du vol des fusées dans les espaces interplanétaires. Oberth travaille longtemps en Allemagne mais joue un rôle effacé dans la création des V-2.

cosmique et même bien souvent de contribuer efficacement à son essor.

Dès le mois de janvier 1927 se fonde à Breslau la première Société Astronautique allemande et le premier Bulletin sur l'Astronautique est mis en vente sous le nom de « Die Rakete ». La même année, Tziolkowsky reprend son étude sur la fusée cosmique et, le 8 juin, R. Esnault-Pelterie fait à la Sorbonne sa mémorable conférence sur l'« Exploration par fusée de la très haute atmosphère et la possibilité des voyages interplanétaires ». Le 1^{er} février 1928, il fonde un prix annuel d'encouragement de 5 000 francs qu'il place sous le patronage de la Société Astronomique de France. Le grand mérite de R. Esnault-Pelterie est d'avoir su intéresser à ce problème des personnalités comme le général Ferrié, Jean Perrin, Emile Fichot, Charles Urbain, Charles Fabry, Ernest Esclançon, Rosny Aîné et plusieurs autres. Un tel parrainage ne pouvait que garantir le caractère sérieux de ces spéculations, et le prix attribué d'abord à Hermann Oberth convainquit le monde entier des intentions parfaitement pacifiques des astronautes.

Le 9 février 1928, à Breslau, le Dr F. von Hoefft expose son point de vue sur la nature des expériences à entreprendre pour aboutir à la réalisation de l'astronef, et G. von Pirquet suggère l'emploi de « satellites » afin de surmonter les difficultés soulevées par le rapport de masse.

Entre 1928 et 1932, N.-A. Rynine, au courant des moindres travaux astronautiques et en relation constante avec les chercheurs étrangers, fait paraître une véritable encyclopédie astronautique.

En 1929, Oberth reçoit de la firme cinématographique U.F.A. une subvention de 27 000 marks pour construire sa fusée-sonde, dont les plans furent élaborés en 1923. La même année Noordung présente un travail important et original sur les satellites artificiels dont la vogue grandit.

En 1930, apparaît « La femme dans la Lune », film d'anticipation auquel H. Oberth apporte sa collaboration scientifique.

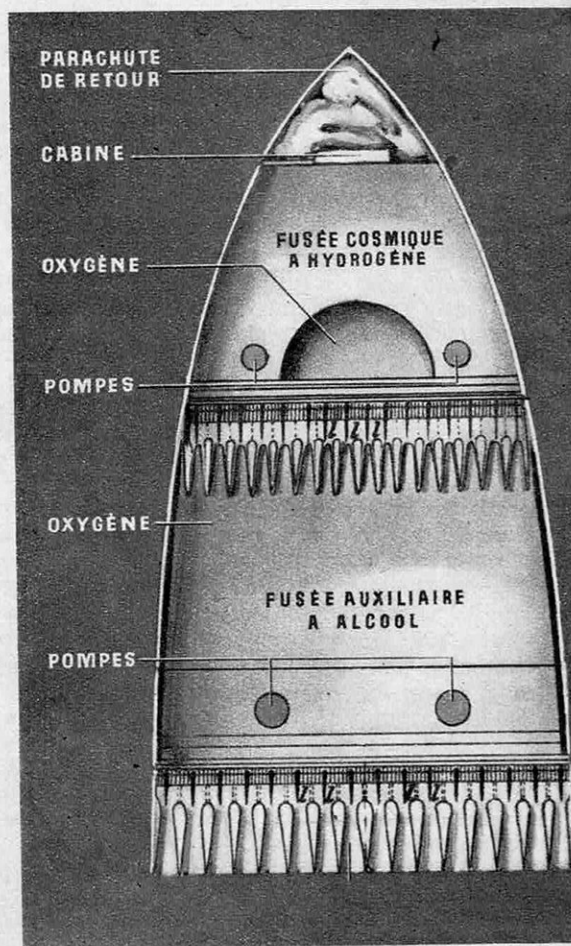
En Allemagne se manifeste une véritable psychose de la réaction, créant un terrain des plus favorables aux recherches. Tout ce qui se meut est doté de fusées : planeurs, automo-

biles, traîneaux, etc. Des groupements d'expérimentateurs se constituent.

E. Pendray, après avoir assisté aux essais de la « Raketenflugplatz » près de Berlin, crée dès son retour à New-York l'« American Rocket Society » (1930).

En France, R. Esnault-Pelterie, après de multiples démarches auprès des organismes compétents, après d'interminables tracasseries administratives, passant par des alternatives d'espoir et de découragement, décide, en dépit d'un matériel insuffisant, de passer aux essais sur le tétranitrométhane. Le 9 octobre 1931 une explosion l'ampute de quatre doigts.

Comme c'était à prévoir, les études sur les fusées, qui se généralisent dans le monde, n'intéressent plus seulement les astronautes ; les militaires, qui avaient au siècle dernier abandonné la fusée pour l'obus d'artillerie, suivent attentivement la renaissance de la première. Et ceci amène désormais une sorte de divorce entre l'expérimentation sur les fusées, réservée aux militaires, et les spéculations des théoriciens de l'astronautique qui, se tenant au courant des progrès de la technique, s'efforcent de préciser les données scientifiques du vol interplanétaire en attendant le jour où le moteur capable de les propulser dans l'espace sera mis à leur disposition.



La fugitive mais utile apparition en France de l'ingénieur Ary Sternfeld, les nombreuses conférences faites à la Sorbonne, le regain d'intérêt porté par l'Amérique aux recherches entreprises, la fondation en octobre 1933 de la première Société anglaise, le silence même dont s'entourent les études astronautiques allemandes, enfin la parution en Union Soviétique du Bulletin « Mouvement Réactif » dirigé par l'ingénieur Tihonrowov et les études importantes des ingénieurs Langueman et Gluchko font qu'au seuil de 1935, nous sommes en mesure d'affirmer «... que le moteur à réaction est à même de faire atteindre sans difficulté à la fusée une portée de 100 km... » et de considérer « l'Astronautique comme l'ultime perfectionnement de l'Aéronautique ».

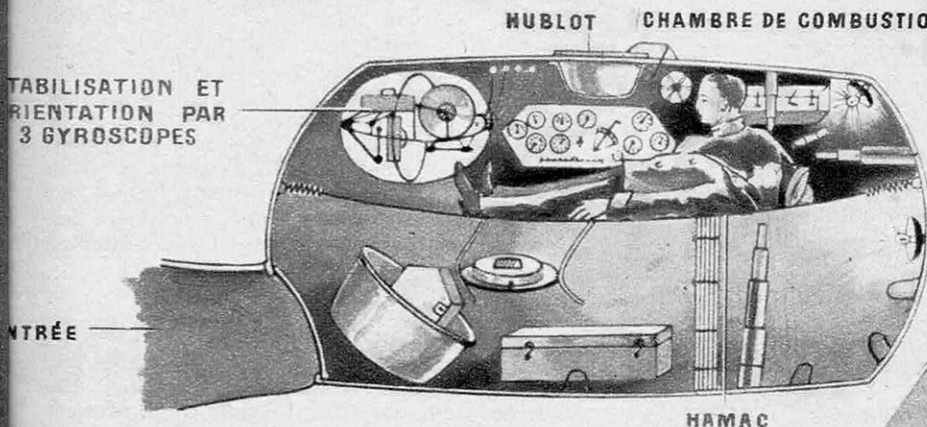
L'année 1935, marquée par la disparition de Tziolkowsky, est une année de progrès rapides.

En 1937, le Palais de la Découverte, à Paris, présente sur l'initiative de M. Lévillé, une Exposition astronautique mettant ainsi en parallèle avec les disciplines plus évoluées les sujets de recherche sinon les résultats de la nouvelle science.

En 1938, la Société Astronomique de France accorde l'hospitalité aux astronautes, mettant ses locaux à leur disposition pour leurs réunions de travail.

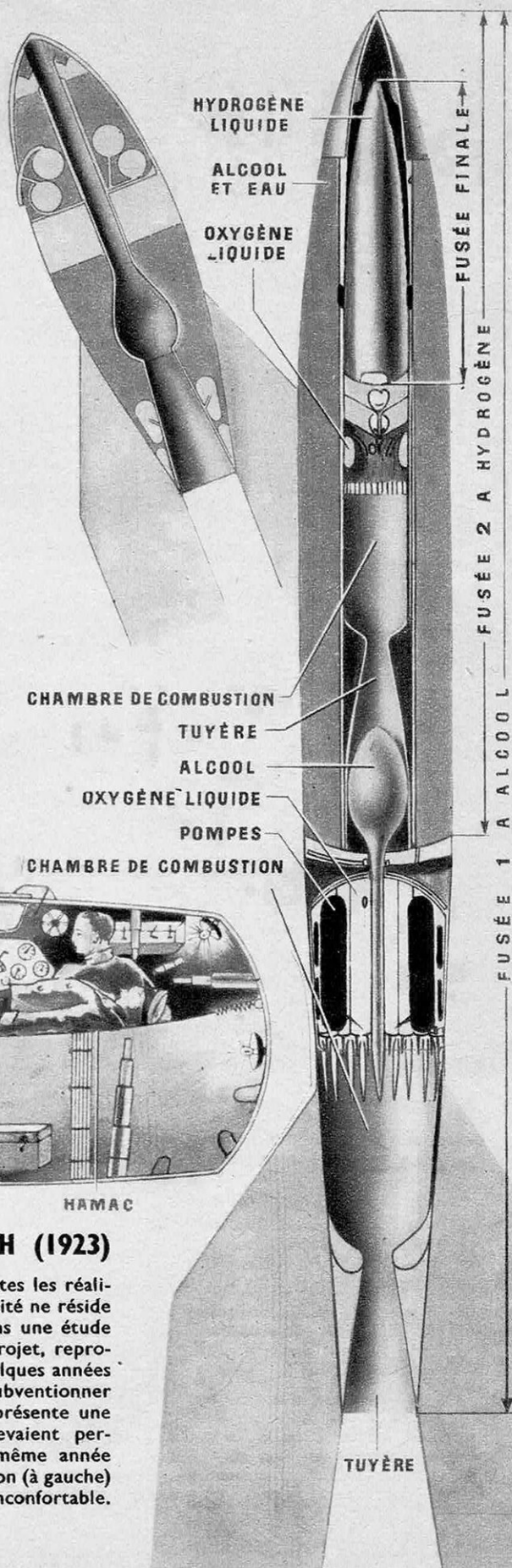
Les années de guerre voient la dispersion des astronautes, et entre septembre 1939 et août 1944, la parole passe aux seuls spécialistes de la fusée, qui réapparaît sur les champs de bataille.

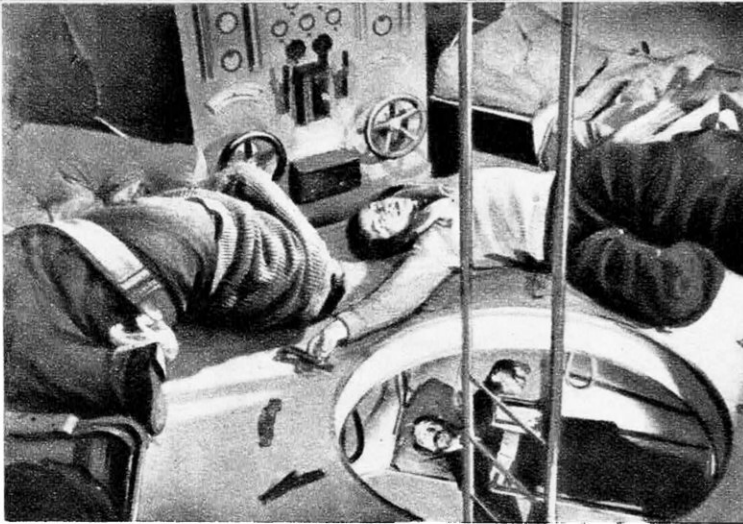
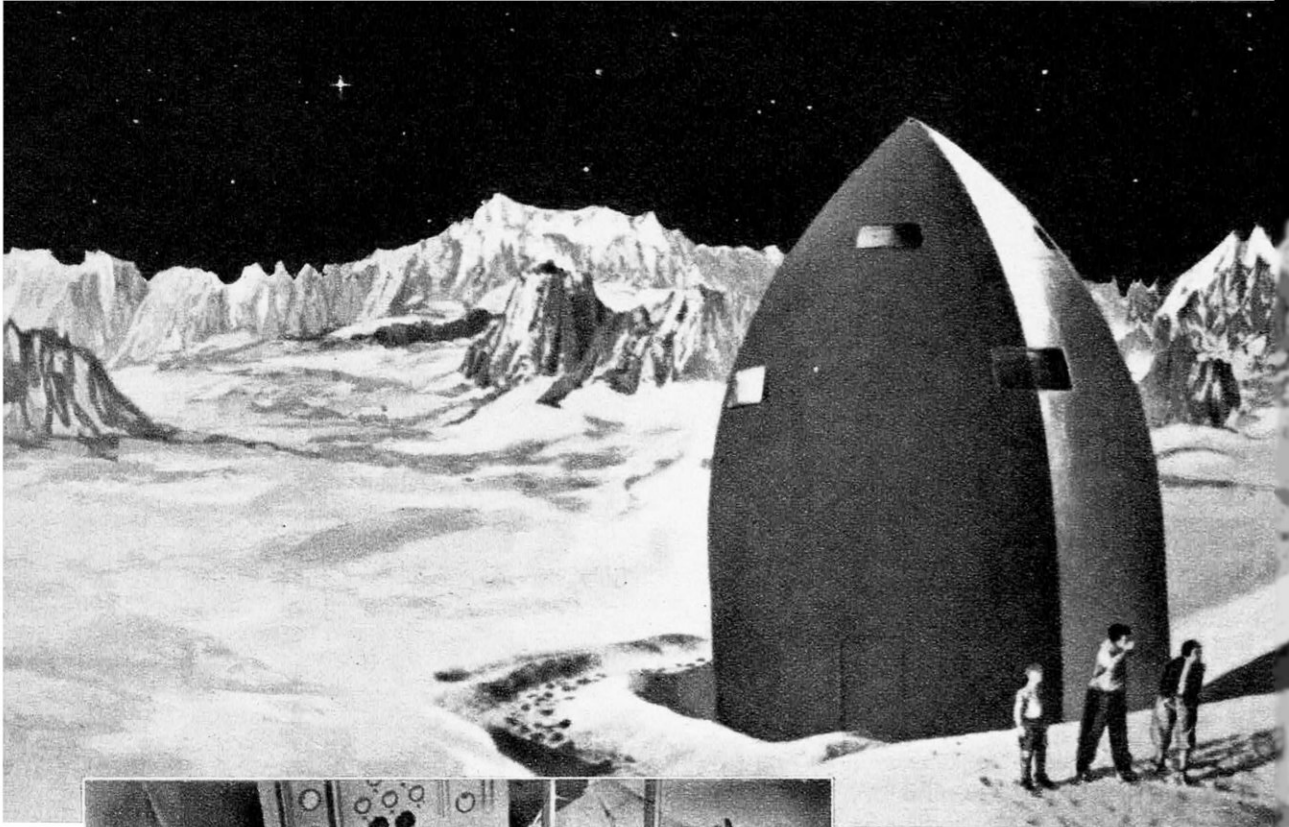
La mise au point du radar, les progrès du radioguidage, enfin la révélation en 1945 de l'aboutissement des recherches sur la libération de



LES PROJETS DE FUSÉE DE H. OBERTH (1923)

CES projets ont inspiré dans une large mesure toutes les réalisations allemandes à partir de 1930. Leur originalité ne réside pas dans le choix du mode de propulsion, mais dans une étude minutieuse de tous les aménagements. Le premier projet, reproduit ci-dessus, représente une fusée-sonde, dont quelques années plus tard la firme cinématographique U.F.A. devait subventionner sans succès la construction. Le second (à droite) représente une fusée précosmique dont les éléments gigognes devaient permettre d'atteindre une altitude de 1 960 m. La même année Oberth proposa un astronef à deux étages de propulsion (à gauche) dont la cabine exigüe aurait été certainement très inconfortable.





H. OBERTH FUT LE CONSEILLER

QUATRE années après la publication des projets de H. Oberth reproduits à la page précédente, la firme cinématographique U.F.A. entreprit la réalisation d'un film intitulé « Une femme dans la Lune » et s'assura le concours de Oberth pour les données techniques de ce film. Si l'intrigue de « Une femme dans la Lune » ne présente pas d'intérêt particulier, le film en dépit de quelques invraisemblances grossières, telles que la présence d'une atmosphère respirable à la surface de notre satellite,

l'énergie nucléaire apportent aux astronautes de nouveaux espoirs et de nouveaux domaines d'études.

La preuve est ainsi faite d'une manière surabondante que les voies suivies l'une par les techniciens, l'autre par les astronautes se rejoignent et qu'il n'est pas un problème intéressant l'art militaire qui n'intéresse aussi l'astronautique, et réciproquement.

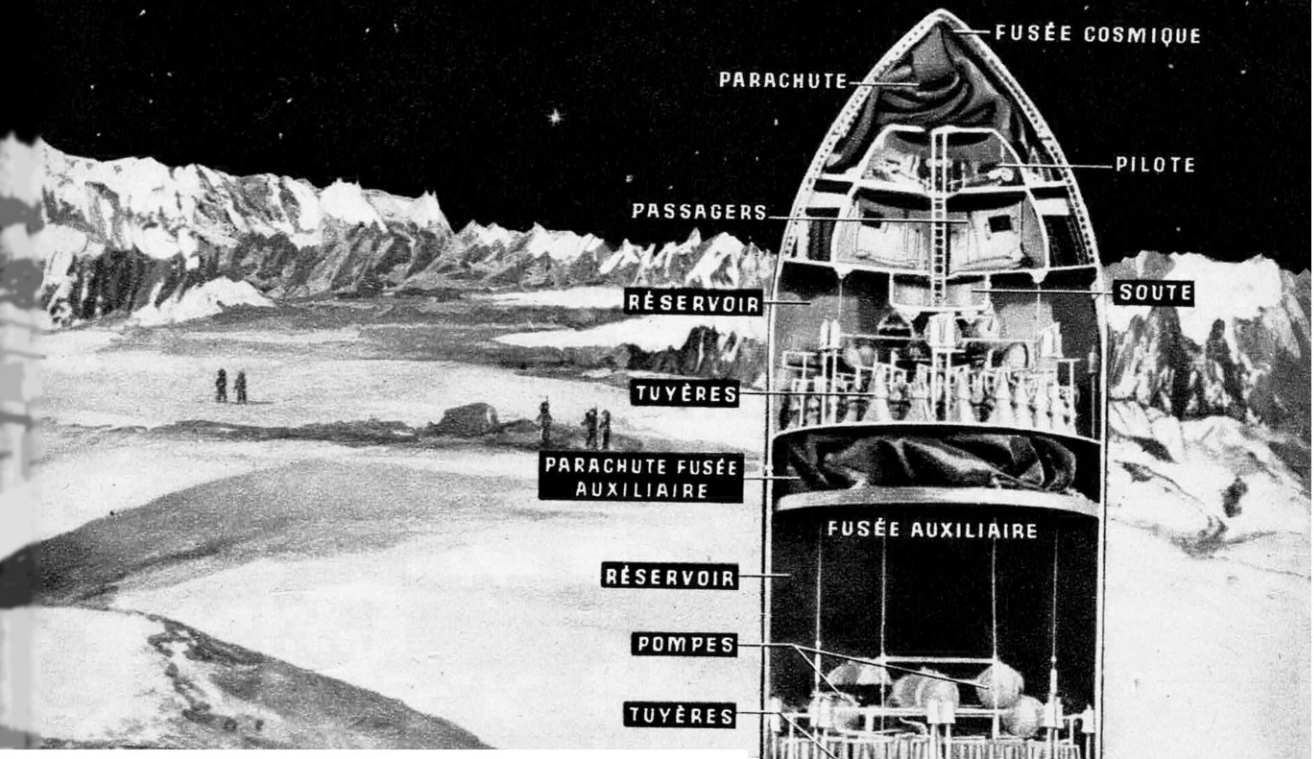
Dès 1945, les astronautes français tentent de reprendre leur activité mais, mis dans l'obligation de quitter la Société Astronomique de France, ils se tournent vers l'Aviation, désormais plus proche d'eux que l'Astronomie.

Le 6 juillet 1945, l'Aéro-Club universitaire ouvre toutes grandes ses portes à la Société Astronautique. Un Comité est formé comprenant des personnalités éminentes, en même

temps qu'un bulletin " l'Astronef " voit le jour. Mais l'Astronautique prend un caractère vraiment officiel lorsqu'en avril 1946 et 1947 elle s'inscrit au Congrès National de l'Aviation Française. Enfin, le 6 juillet 1947, a lieu au Palais de la Découverte l'inauguration du Département permanent d'Astronautique.

En contre-partie, comme il s'avère que les recherches astronautiques intéressent la Défense nationale, leurs manifestations sont soumises à des restrictions.

Il y a là un curieux paradoxe, qui n'empêche nullement la Société de poursuivre son activité, tandis que l'Académie des Sciences, sortant de sa prudente réserve, fait paraître dans ses comptes rendus les travaux de E. Esclançon, J. Chazy et de R. Centy. Tous les thèmes traités concernent les satellites artificiels, dont M. James



R SCIENTIFIQUE POUR CE FILM D'ANTICIPATION

demeure un réel chef-d'œuvre sur le plan scientifique. Pendant les quatre années qui séparent le projet de 1923 de la maquette que nous reproduisons ci-contre, Oberth a eu le temps de perfectionner son astronef. En particulier, la cabine est devenue vraiment habitable. Elle est séparée de la paroi de la fusée par un couloir qui devait l'isoler et permettre de régler sa température. La température de

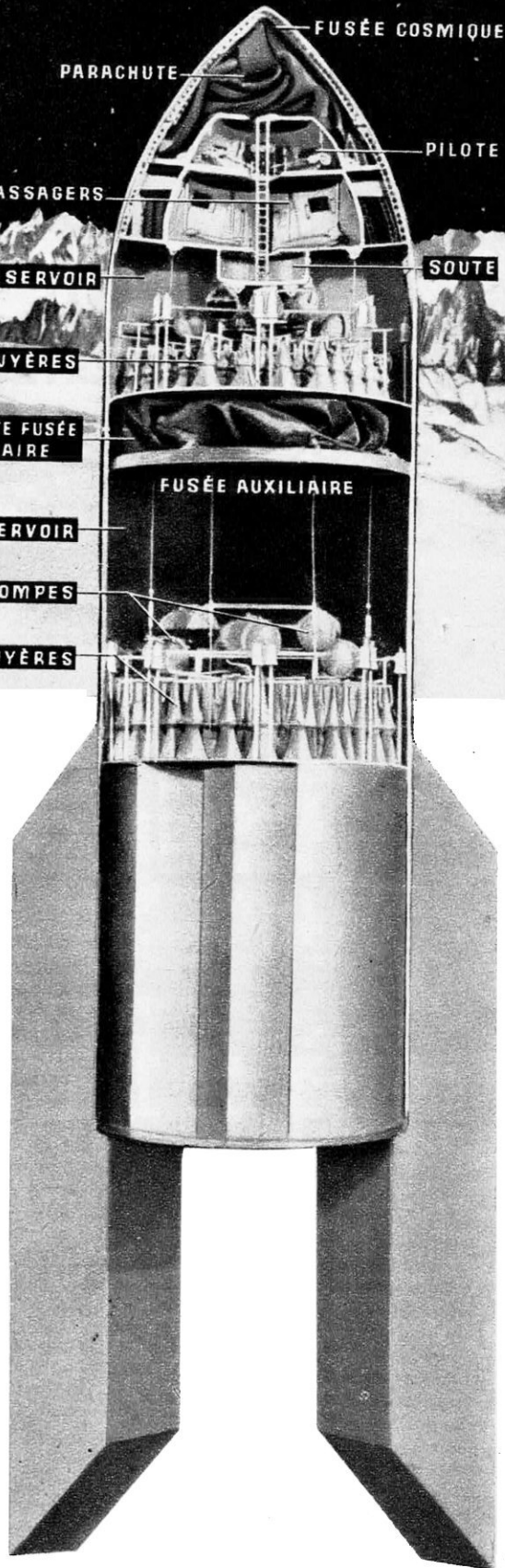
l'astronef devait pouvoir être maintenue dans des limites raisonnables grâce à un dispositif désormais classique consistant à peindre une moitié en noir et l'autre moitié en blanc de manière à absorber suivant l'orientation de l'engin une proportion variable du rayonnement solaire. On voit à gauche et ci-dessus quelques images du film : l'intérieur de la cabine, la fusée sur la Lune et la coupe de la fusée.

Forrestal, secrétaire à la Défense des États-Unis, devait révéler tout l'intérêt en annonçant à la fin de 1948 qu'ils faisaient l'objet de recherches spéciales de la part des services américains.

En 1949, la Section astronautique se soude à l'Aéronautique-Club de France et tente au cours de l'année suivante de reprendre la parution régulière de son organe, « l'Astronef », mais doit abandonner ce projet.

Il est assez décevant de constater que la France se trouve sans publication astronautique, alors qu'en Allemagne, dès la fin des hostilités, le bulletin « Weltraum » a fait son apparition, soutenu par des organismes officiels, et que trois sociétés ont repris leur activité interrompue par la guerre.

Le nombre sans cesse croissant des travaux concernant l'astronautique et leur indéniable importance nous amènent, dès 1950, à prendre l'initiative d'organiser le premier Congrès International d'Astronautique.



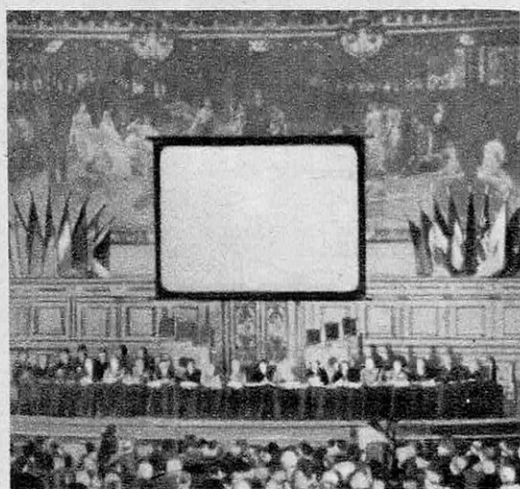
Paris est choisi pour siège de cette importante manifestation qui a lieu du 30 septembre au 2 octobre sous le patronage des plus hautes personnalités du monde scientifique. Les congressistes, représentant huit nations, décident de fonder une Fédération Internationale.

La même année l'une des plus importantes sociétés astronautiques allemandes fonde le " Prix Hermann Oberth ". Cette distinction est attribuée successivement à MM. A. Ananoff, E. Sängner, W. von Braun.

En 1951, à Londres, onze nations prennent part aux débats sur les stations cosmiques. Les statuts de la Fédération sont adoptés et son siège est fixé en Suisse.

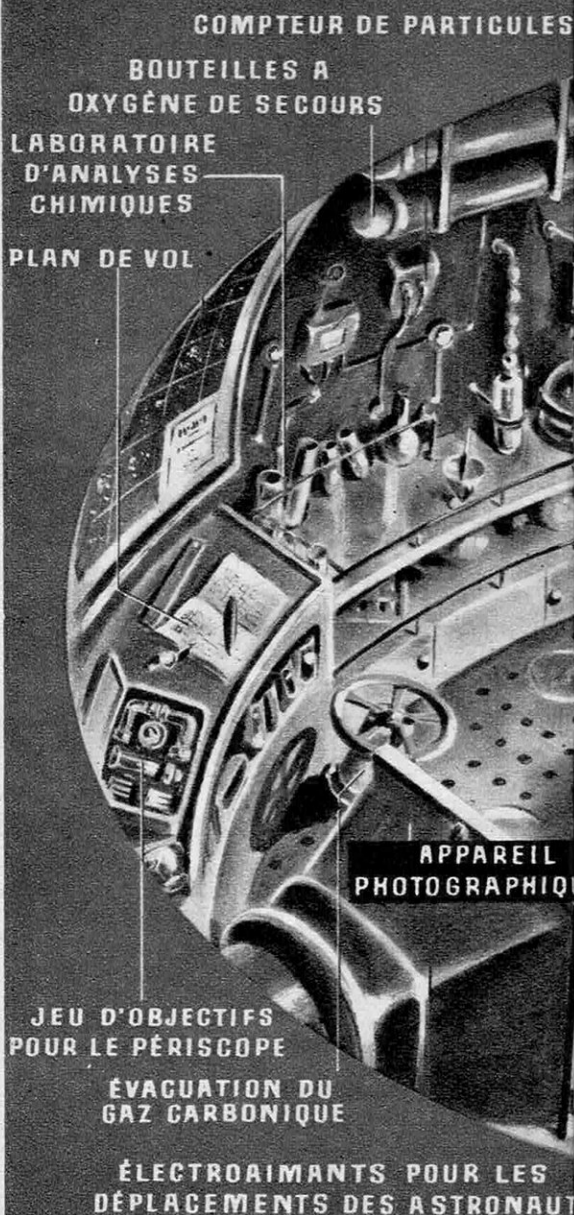
Enfin, au 3^e Congrès, tenu en septembre 1952 à Stuttgart, un Ministre allemand déclare que son pays sera doté avant peu d'un Institut National d'Astronautique.

Mais nous devons reconnaître en toute objectivité qu'en France, un des berceaux de l'Astro-



1^{er} CONGRÈS D'ASTRONAUTIQUE

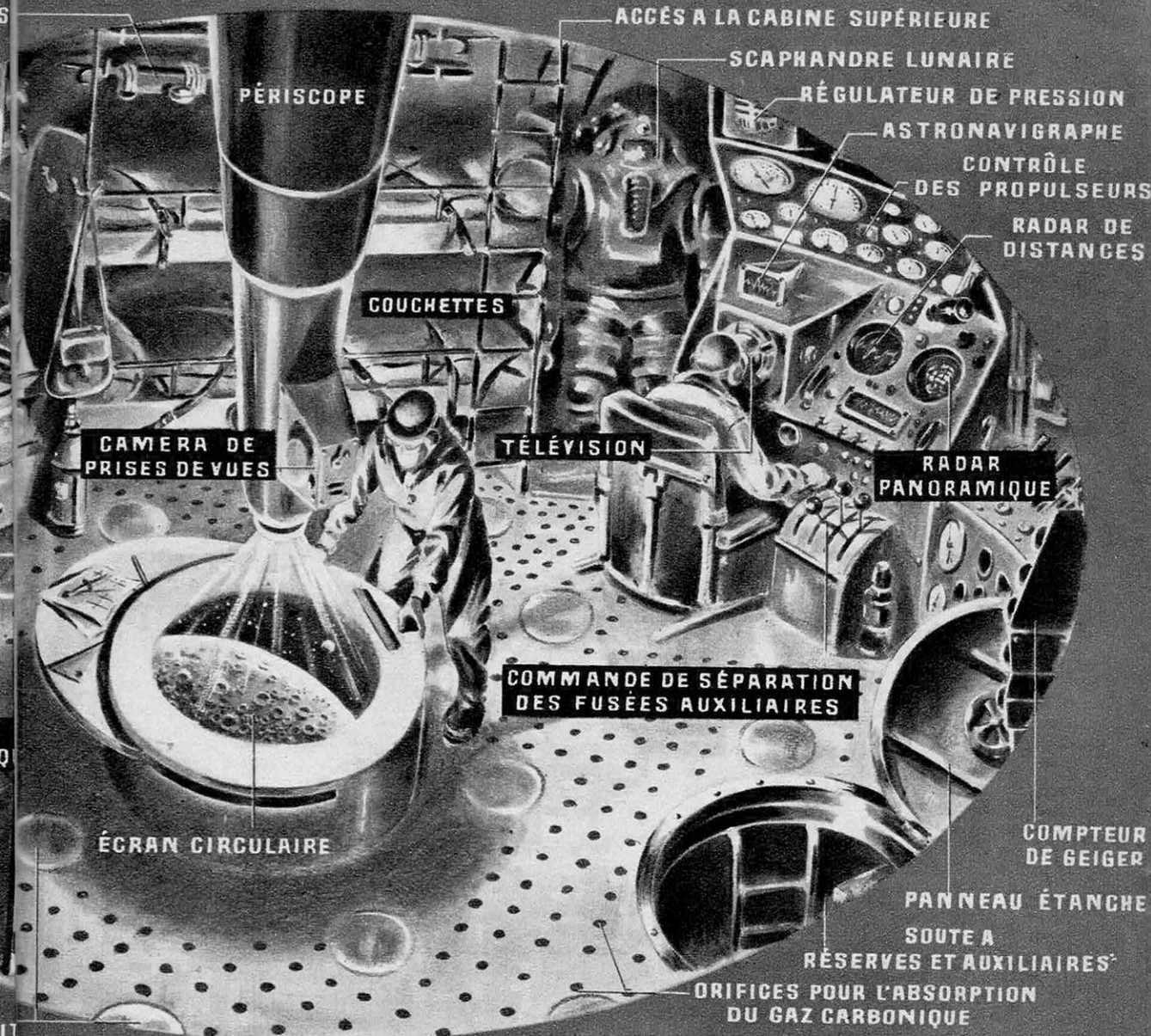
C'EST en 1950 que fut organisé à Paris le Premier Congrès International d'Astronautique. Cette date est particulièrement importante dans l'histoire de la nouvelle science, car c'était la première fois que les chercheurs enthousiastes de tous les pays pouvaient se rencontrer, confronter directement leurs idées, définir leurs buts et jeter les bases d'une collaboration plus étroite et plus efficace. On précisa en particulier au cours de ces réunions la position des astronautes à l'égard des recherches entreprises pour la Défense Nationale, position assez paradoxale, car ils suivent et encouragent les études des techniciens des fusées tout en se tenant à l'écart de leurs applications militaires. L'astronautique se veut essentiellement pacifique. Des personnalités comme J. Pérès, E. Esclançon, M. Roy, H. Mineur, L. Kowarski prirent part à ce congrès où s'affirma le caractère scientifique des aspirations astronautiques.



nautique, les études n'ont guère dépassé le stade des spéculations théoriques isolées.

Pourtant les remarquables performances réalisées au cours de la guerre par les V-2, celles des mêmes engins et des fusées « Aero-bee » et « Viking » en Amérique, démontrent qu'une étape importante est d'ores et déjà franchie et que l'Astronautique est entrée dans une phase concrète où ses progrès ne pourront plus s'arrêter.

À côté des travaux théoriques, qui ne perdent rien de leur valeur, nos connaissances sur l'espace précosmique se précisent peu à peu par l'expérimentation : exploration de la très haute atmosphère qui permet l'étude des rayons cosmiques et du spectre solaire intégral ; recherches sur l'influence des radiations et des conditions de vol sur les organismes vivants ;



CABINE D'ASTRONEF

LES voyages interplanétaires dureront des semaines ou des mois, et l'on conçoit que rien ne doive être négligé pour assurer le confort des astronautes. La cabine que l'on voit ci-dessus a été dessinée sous la direction de M. Ananoff. C'est une anticipation fondée sur des données scientifiques quant aux conditions physiologiques à réaliser. Une centrale de conditionnement d'air et des réserves sont prévues dans un compartiment séparé. D'autre part, l'appareillage est presque entièrement automatique ou semi-automatique et libère ainsi l'équipage de ses tâches les plus délicates. Il est probable que le contrôle de la progression de l'astronef sur sa trajectoire sera effectué par des stations terrestres qui dicteront aux pilotes, sauf dans des cas spéciaux (comme accostage sur une planète), les manœuvres à effectuer, réduisant ainsi leur rôle, pendant la plus grande partie du voyage, à celui assez modeste de « robots pensants ».

expériences sur les possibilités des fusées à étages qui permettent d'atteindre l'altitude record de 402 km. Ainsi se prépare méthodiquement la réalisation des vols cosmiques.

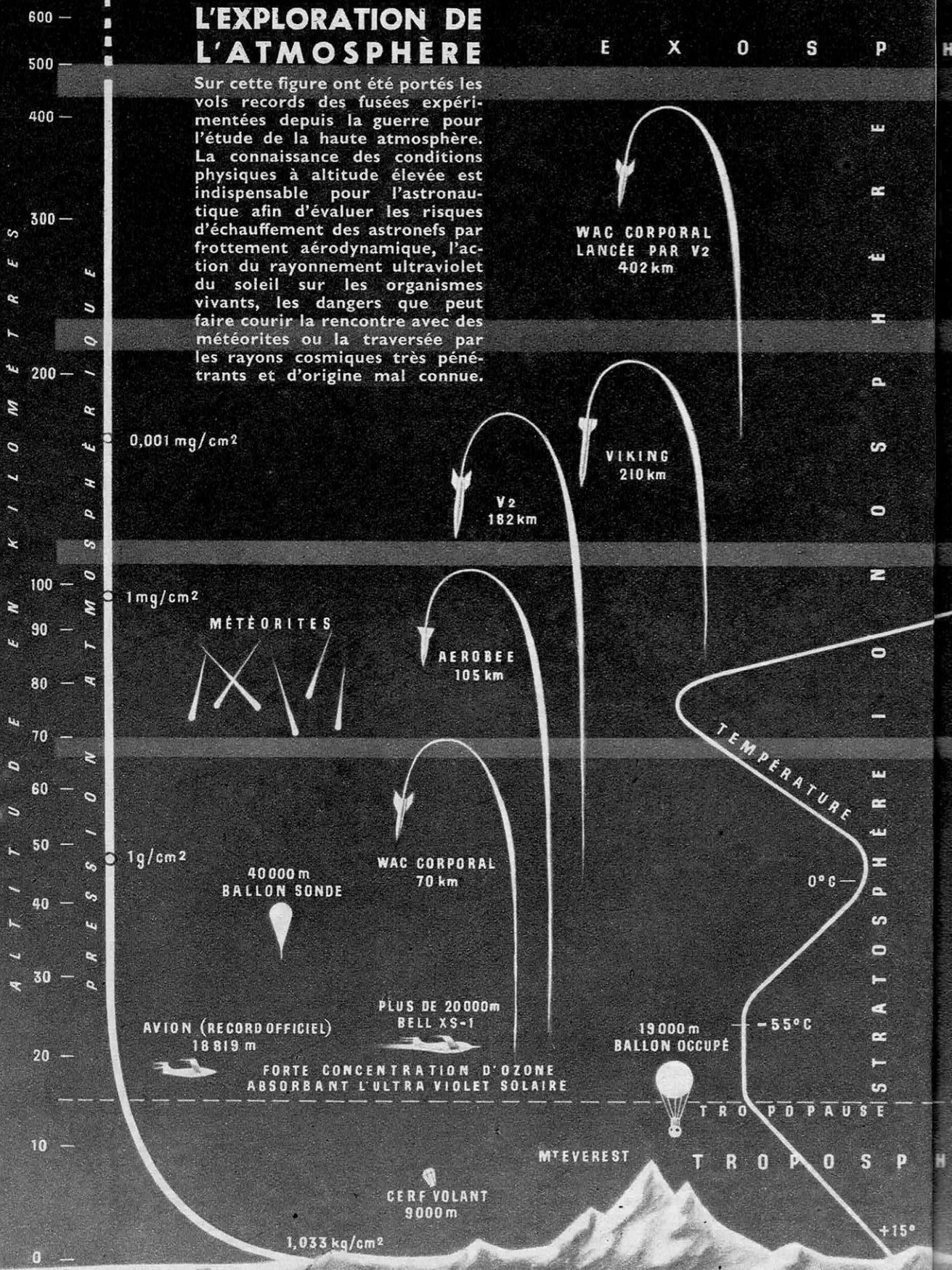
Au terme de cet article, qu'il nous soit permis d'émettre un vœu : celui de voir la France créer elle aussi un organisme officiel chargé de centraliser les recherches, de susciter les travaux, enfin d'aménager les laboratoires et de réunir les moyens matériels nécessaires pour passer aux réalisations concrètes.

Une nation désireuse de se maintenir à l'avant-garde du progrès ne saurait négliger les études astronautiques, non pas en raison de l'originalité du but, mais parce qu'elles exigent toute une série de recherches de la plus haute portée scientifique.

A. Ananoff.

L'EXPLORATION DE L'ATMOSPHERE

Sur cette figure ont été portés les vols records des fusées expérimentées depuis la guerre pour l'étude de la haute atmosphère. La connaissance des conditions physiques à altitude élevée est indispensable pour l'astronautique afin d'évaluer les risques d'échauffement des astronefs par frottement aérodynamique, l'action du rayonnement ultraviolet du soleil sur les organismes vivants, les dangers que peut faire courir la rencontre avec des météorites ou la traversée par les rayons cosmiques très pénétrants et d'origine mal connue.



COUCHE F₂COUCHE F₁AURORES POLAIRES
ENTRE 60 ET 1000 km1500°
VERS 300 km

COUCHE E

COUCHE D

NUAGES NACRÉS

RAYONS
COSMIQUES

CIRRUS

CUMULUS

H È R E

QUE TROUVE-T-ON DANS LE "VIDE" INTERPLANÉTAIRE ?

PARMI les nombreux problèmes que soulève la préparation d'un voyage astronautique, nous allons examiner celui des conditions physiques existant dans l'espace traversé par le véhicule. Ces conditions ne seront pas celles qu'auront à subir directement les hardis navigateurs, enfermés dans leur nacelle hermétiquement close. Mais celles qui régneront à l'extérieur de cette nacelle auront évidemment une influence sur celles existant à son intérieur, comme aussi elles pourront agir sur la marche de l'engin lui-même.

Il faut reconnaître tout de suite que nos connaissances sur la haute atmosphère et l'espace interplanétaire ou intersidéral sont encore fragmentaires. Mais ce n'est pas l'insuffisance de notre savoir sur ces sujets qui surprendra. Si l'on éprouve quelque étonnement, ce sera plutôt de constater comment on a tiré parti de techniques très diverses pour obtenir des informations, qui se complètent et se contrôlent les unes les autres.

MÉTHODES D'EXPLORATION DE LA HAUTE ATMOSPHÈRE

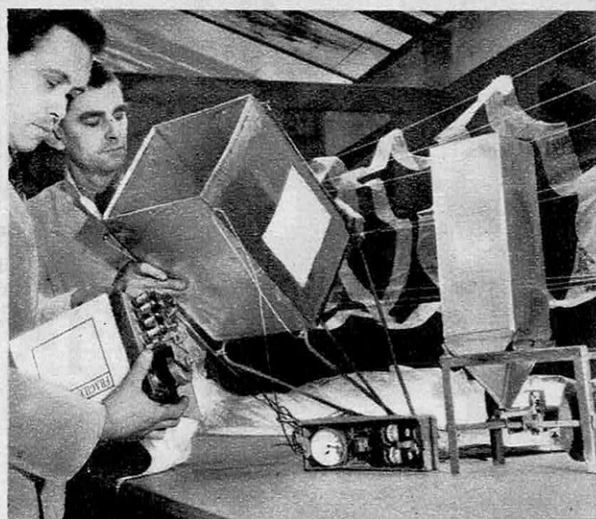
Jusqu'ici aucun homme n'a réussi à s'élever dans l'atmosphère à une altitude supérieure à 22 kilomètres. Pauvre record, par comparaison aux projets des astronautes.

Pour explorer l'atmosphère jusqu'à 30 ou 40 kilomètres, on emploie des **ballons-sondes**, qui emportent des appareils enregistreurs mesurant la température, la pression, l'humidité, etc. En fixant sur les ballons-sondes un émetteur de radio, qui transmet directement au sol les résultats des mesures, on évite le retard qu'imposait autrefois la recherche des instruments, après leur descente au sol en parachute.

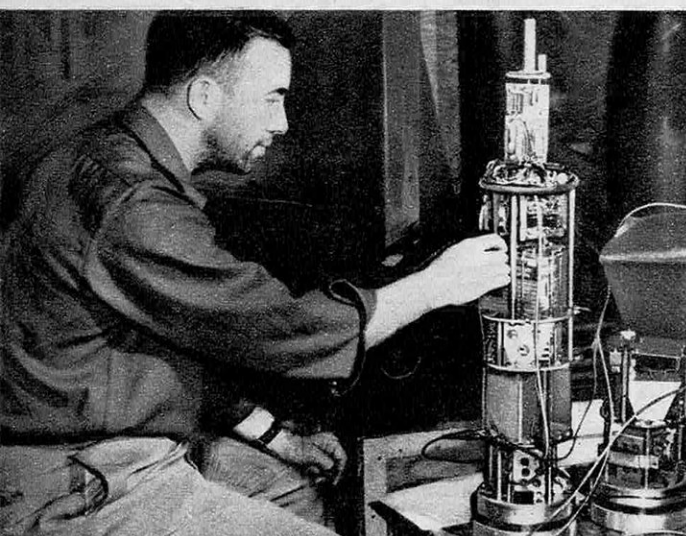
Pour les altitudes supérieures — jusqu'au record de 402 kilomètres, qui ne semble pas avoir été dépassé jusqu'ici — on utilise, depuis 1946, une technique qui s'apparente beaucoup à l'aéronautique, celle des **fusées V-2**. On a réussi à équiper celles-ci pour des recherches particulières, telles que l'étude des rayons cosmiques, la photographie de la Terre vue à grande altitude, ou encore la spectroscopie du Soleil pour les radiations qui sont absorbées par notre atmosphère, etc... On s'est aussi servi des V-2 pour étudier la variation de la pression et de la température en fonction de l'altitude. Mais — c'est un fait sur lequel il convient d'attirer l'attention, car il explique l'incertitude des résultats obtenus — la mesure directe de ces grandeurs n'est pas possible. Ainsi l'on comprend



● Ces ouvrières soudent les feuilles de plastique constituant l'enveloppe du ballon. Au-dessus de la table, on voit le dispositif de protection de la manche à gaz.



● Ce ballon sonde pour l'étude des rayons cosmiques emportera un émetteur et des plaques spéciales. Le réveil déclenchera le largage des appareils en parachute.



● Au large du Groenland, sur un navire de l'U.S. Navy, on assemble les éléments d'une fusée qui sera lancée d'un ballon sonde pour l'étude des rayons cosmiques.

sans peine qu'on ne peut pas déterminer la température au moyen d'un thermomètre fixé sur la fusée ; car, parmi d'autres raisons, l'équilibre thermique ne peut pas s'établir avec un projectile dont la vitesse dépasse, en moyenne, un kilomètre par seconde. On évalue la température d'après le taux de variation de la pression avec l'altitude, ou par une autre méthode plus complexe. Quant à la pression, elle a, à cause du mouvement rapide de la fusée, des valeurs différentes en divers points de celle-ci ; on admet que la pression ambiante est égale à celle qui s'exerce en un certain point, qui est déterminé par des considérations aérodynamiques.

Parmi les autres sources d'informations sur la haute atmosphère, nous citerons :

L'étude spectrographique de l'absorption des radiations solaires par l'atmosphère.

Ce sont des mesures de ce genre qui ont permis notamment de reconnaître la présence dans l'atmosphère d'une faible quantité d'ozone, de doser ce gaz, d'étudier sa répartition en altitude. Des observations récentes, dans la région infrarouge du spectre, ont décelé la présence, en quantité impondérables, de divers composés : méthane (CH_4), gaz ammoniac (NH_3), oxyde nitreux (N_2O).

La propagation des ondes radioélectriques.

La transmission de la radio à grande distance n'est possible, on le sait, que grâce à la présence dans la haute atmosphère (ionosphère) de couches électrisées, qui réfléchissent les ondes radioélectriques vers le sol. Les mesures nous permettent de connaître la densité des électrons et la température dans ces couches.

L'observation des météores (ou étoiles filantes).

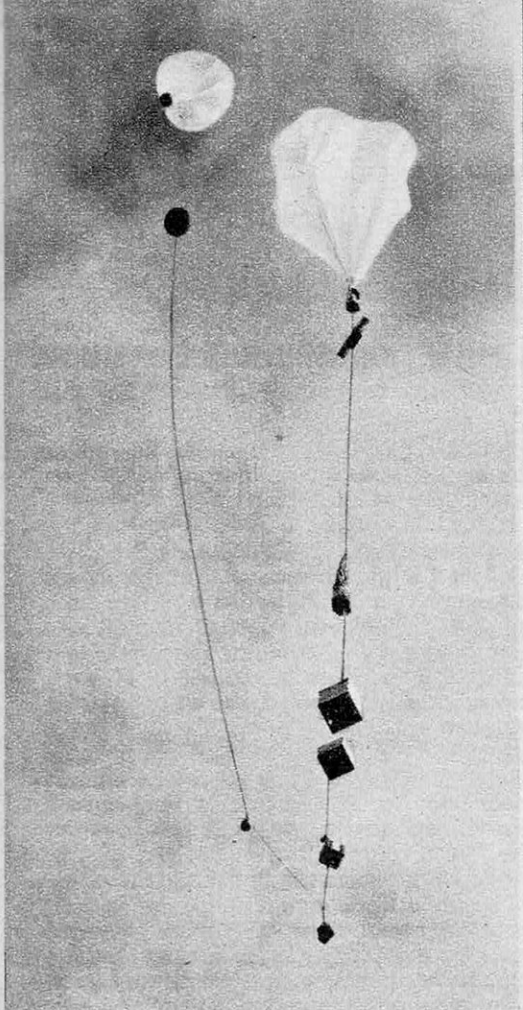
La photographie simultanée d'un météore en deux stations distantes de plusieurs kilomètres donne un moyen pour déterminer sa trajectoire. En interrompant périodiquement la traînée enregistrée, au moyen d'un secteur tournant placé devant les objectifs photographiques, on évalue la vitesse du météore. On en déduit finalement la variation de la densité de l'air le long de la trajectoire.

La variation de la brillance du ciel au cours du crépuscule.

Elle nous renseigne sur la variation de la densité de l'air en fonction de l'altitude, parce que l'altitude des couches directement éclairées par le Soleil croît au fur et à mesure que le Soleil descend au-dessous de l'horizon.

L'étude des aurores et de la lumière du ciel nocturne.

La faible lumière qui nous vient du fond nocturne est due, pour une part importante, à une luminescence des hautes couches de l'atmosphère, analogue à celle qui produit les aurores polaires. Dans les deux



● Ce ballon lancé par le garde-côte américain « East Wind » a atteint une altitude de 30 km. L'ensemble du dispositif constituait un chapelet de 300 m de long



● Lancement d'un ballon sonde à la base de Holloman (Nouveau Mexique). L'enveloppe en matière plastique n'est qu'à demi-gonflée pour permettre l'expansion du gaz.

cas, l'analyse spectrographique nous renseigne sur la composition des couches lumineuses et sur leur température.

La propagation anormale du son. Lors des fortes explosions, comme celle de la base d'Héligoland en 1947, on a constaté qu'elles cessent d'être entendues à une certaine distance, mais qu'elles deviennent audibles à nouveau à une distance plus grande. Ce fait a été mis à profit pour évaluer la température de l'air en fonction de l'altitude.

LES CONDITIONS PHYSIQUES DANS LA HAUTE ATMOSPHÈRE

Malgré quelques incertitudes, qui subsistent encore, on connaît maintenant assez bien les variations de la pression et de la température jusque vers 150 kilomètres.

En gros, la pression décroît suivant une loi exponentielle, ou, en d'autres termes, elle diminue dans le même rapport chaque fois que l'altitude croît d'une même quantité. De manière plus précise, la décroissance de la pression est tantôt un peu plus lente, tantôt

un peu plus rapide que la variation régulière précédente, selon que la température augmente ou diminue.

Voyons donc maintenant les variations de la température. On sait qu'à partir du sol elle décroît d'abord à peu près linéairement d'un degré tous les 150 mètres, puis devient sensiblement constante, égale à -55°C dans la région de l'atmosphère que l'on appelle la stratosphère. Sous nos latitudes, la stratosphère débute vers 10 kilomètres d'altitude et s'étend jusqu'à 30. Vers cette hauteur, la température se met à croître, pour atteindre un maximum voisin de 0°C , à 50 kilomètres. Elle passe ensuite par un minimum vers 80 kilomètres, puis croît à nouveau. Elle atteint vraisemblablement une valeur élevée, voisine de $+1500^{\circ}\text{C}$ vers 300 kilomètres. Le sens des variations, tel que nous venons de le décrire, ne fait plus de doute ; mais les valeurs de la température au-delà de 40 kilomètres ne sont pas encore connues avec précision. Peut-être même subissent-elles des changements au cours de l'année. Ainsi les observations des météores indiquent que la densité de l'air vers 80 kilomètres présenterait une variation

INSTRUMENTS DE
MÉSURE POUR LA
HAUTE ATMOSPHÈRE

RÉSERVOIR SPHÉRIQUE
D'HÉLIUM

RÉSERVOIR
D'OXYGÈNE LIQUIDE

RÉSERVOIR
D'ALCOOL

BOITE DE JONCTION

GYROSCOPES
SERVO-AMPLIFICATEURS

BATTERIE

COUPE DE LA FUSÉE IONOSPHERIQUE "VIKING"

saisonnier, qui serait elle-même liée à une fluctuation de la valeur de la température vers 50 kilomètres et au-delà.

On sait, dans l'ensemble, pourquoi la température varie avec l'altitude de la manière indiquée. La diminution initiale à partir du sol s'explique par le mouvement ascendant de l'air, qui produit une détente adiabatique, c'est-à-dire sans échange sensible de chaleur avec les masses d'air voisines. Au contraire, l'augmentation, qui débute vers 30 kilomètres, doit être attribuée à l'absorption du rayonnement solaire ultraviolet par l'ozone atmosphérique. Rappelons, en effet, que seules parviennent au sol les radiations dont la longueur d'onde est supérieure à 0,3 micron environ. Celles de plus courtes longueurs d'onde, qui transportent 4 à 5% du flux énergétique solaire, sont arrêtées par une très faible quantité d'ozone. Cet ozone se forme dans la haute atmosphère à partir de l'oxygène, précisément sous l'effet des radiations ultraviolettes absorbées. Les mesures optiques de l'absorption exercée par l'ozone ont montré que la concentration de ce gaz est maximum vers 20 ou 25 kilomètres d'altitude et devient nulle au-delà de 50 kilomètres. Ces résultats ont

été confirmés par les explorations au moyen des fusées V-2, puisqu'un spectrographe emporté dans la haute atmosphère a photographié, pour la première fois, la portion du spectre solaire dont les longueurs d'onde sont comprises entre 0,3 et 0,2 micron environ. Les radiations de longueur d'onde inférieure à 0,2 micron ne sont pas arrêtées par l'ozone, mais elles le sont par l'oxygène. C'est précisément à leur absorption qu'est due la nouvelle et forte augmentation de la température au-delà de 80 kilomètres.

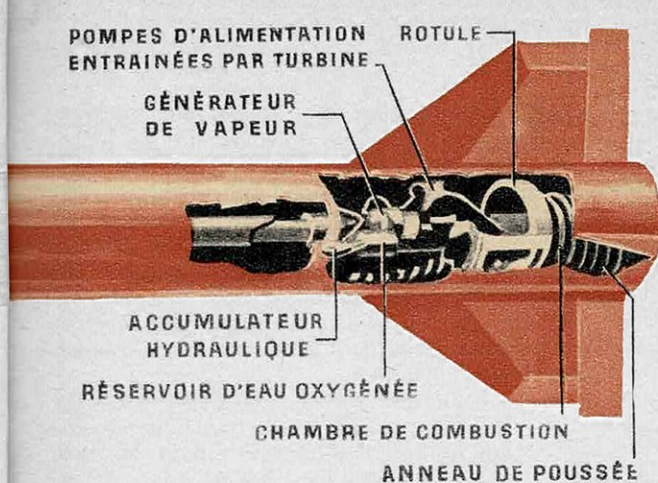
Il est utile de donner quelques explications sur la signification de la température dans la haute atmosphère. Il s'agit de la température de l'air, et pas du tout de celle que pourrait prendre un corps solide exposé au rayonnement solaire, par exemple la nacelle contenant les astronautes. Cette température de l'air est celle qui intervient dans la théorie cinétique des gaz : les molécules ou les atomes des gaz sont animés de mouvements désordonnés, dont l'énergie cinétique moyenne est proportionnelle, d'après cette théorie, à la température absolue du gaz (c'est-à-dire la température obtenue en ajoutant 273° à la température centésimale). Si la température est élevée, les



● A bord du navire américain « Norton Sound », des techniciens mettent en place les instruments d'exploration de l'ionosphère qu'emportera une fusée « Viking ».



● Sur cette bande de papier s'inscrivent automatiquement les résultats des mesures effectuées par les instruments de la fusée, transmis au sol par radio.

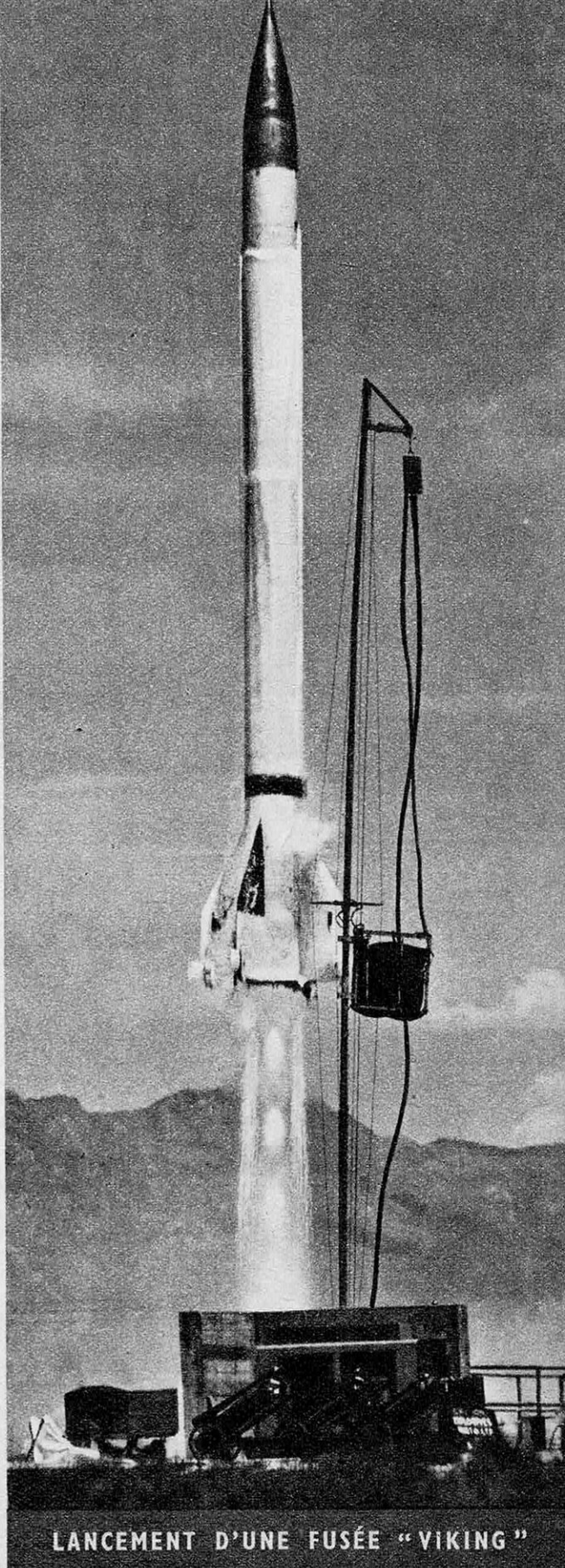


vitesse d'agitation thermique sont grandes. Les chocs contre les parois de la nacelle des particules formant le gaz ambiant peuvent céder de la chaleur à celle-ci. Mais la fréquence des collisions est proportionnelle à la pression. A haute altitude, cette dernière est devenue tellement faible que, même si la température de l'air extérieur atteint 1500°C ou davantage, la chaleur cédée à la nacelle sera absolument négligeable par comparaison à l'énergie solaire absorbée par les parois.

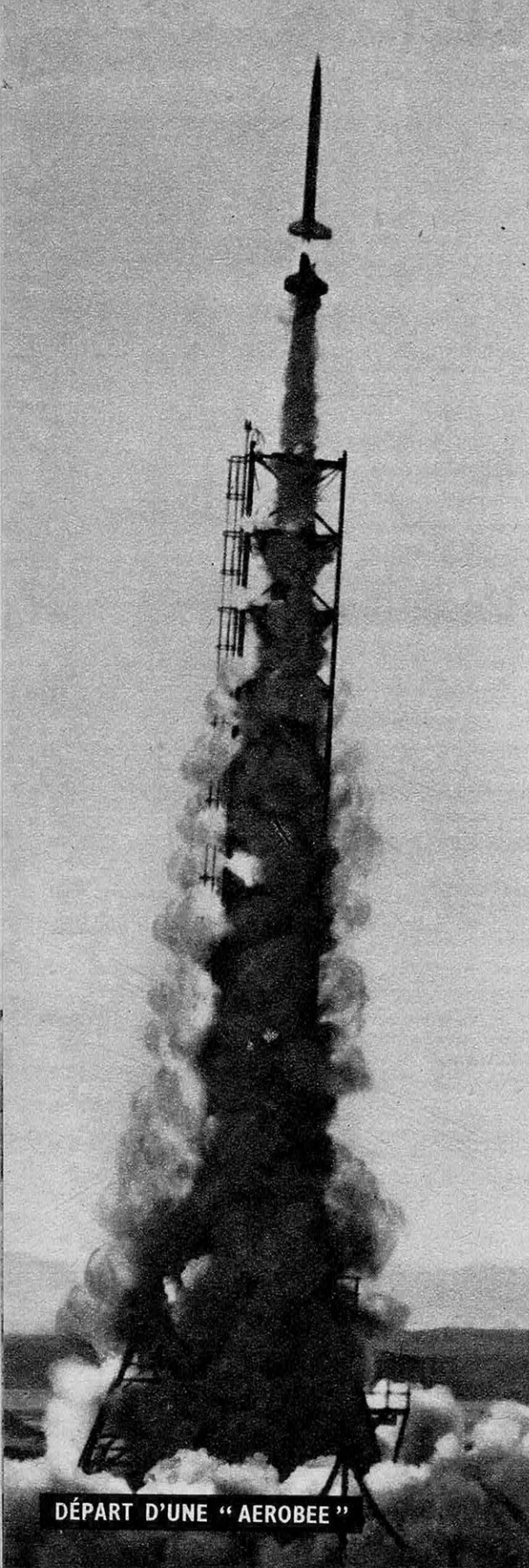
Cette raréfaction de l'air à haute altitude modifie certaines de ses propriétés. Un changement très remarquable est la transformation des deux gaz, l'oxygène et l'azote, de l'état moléculaire à l'état atomique. Dans les couches basses de l'atmosphère, les atomes d'oxygène sont toujours associés deux par deux, sous forme de molécules O_2 , tandis qu'au-dessus de 120 à 150 kilomètres les atomes O existent séparés. Les rayons ultraviolets de courtes longueurs d'onde, qui existent dans le rayonnement solaire et qui arrivent dans la haute



● L'examen minutieux des débris de la fusée fournira des renseignements sur le comportement de ses divers organes et suggérera les améliorations à y apporter.



LANCEMENT D'UNE FUSÉE "VIKING"



atmosphère, puisque rien ne les a encore arrêtés, ont précisément la propriété de dissocier les molécules d'oxygène en atomes. Ceux-ci peuvent bien se recombinaison pour former des molécules, mais les recombinaisons ne se produisent que lors des collisions et ces dernières sont rares à haute altitude.

Il faudra tenir compte, dans la construction de l'engin astronautique ou du moins pour son revêtement, du fait que l'oxygène atomique a des propriétés chimiques nettement plus actives que celles de l'oxygène moléculaire.

Nous avons parlé d'oxygène et d'azote. On a, en effet, des preuves que ces deux gaz existent encore à 500 kilomètres d'altitude et même au-delà. On pense que la composition de l'air reste sensiblement la même à toute altitude, sauf la transformation signalée des molécules en atomes.

Revenons maintenant sur le rayonnement solaire ultraviolet. Les radiations absorbées par l'ozone atmosphérique sont nocives, non seulement pour les bactéries mais pour les animaux et les végétaux. Leur action sur notre peau provoque l'érythème ou « coup de soleil » et sur nos yeux une conjonctivite. Ces radiations pénètrent dans l'atmosphère jusque vers 50 kilomètres; au-dessus de 100 ou 150 kilomètres arrivent aussi celles qui sont absorbées par l'oxygène moléculaire. On notera qu'aux moments où se produisent des éruptions chromosphériques, l'intensité du rayonnement solaire ultraviolet se trouve certainement accrue, dans un rapport notable, qui atteint peut-être 10, mais ne doit guère dépasser cette valeur.

Les radiations ultraviolettes possèdent, entre autres propriétés, celle de pouvoir ioniser facilement les molécules ou atomes présents dans la haute atmosphère, c'est-à-dire de leur arracher un électron. Cette propriété, qui est mise à profit dans les cellules photoélectriques, explique la formation des diverses couches ionisées (couche D vers 60 kilomètres, couche E vers 100 kilomètres, couche F vers 250 kilomètres).

Si l'on veut réaliser une liaison par radio entre le sol et les astronautes, ces couches ionisées forment un obstacle pratiquement infranchissable pour les ondes longues et pour les moyennes fréquences. Mais elles peuvent être traversées par des ondes plus courtes qu'une quinzaine de mètres.

Le Soleil n'envoie pas seulement sur la Terre son rayonnement lumineux (ondes visibles, infrarouges ou ultraviolettes) : celle-ci reçoit aussi, de manière intermittente, un rayonnement corpusculaire, formé de particules électrisées (électrons, atomes ionisés). Ces particules sont éjectées par le Soleil, ou du moins par ses régions perturbées. Lorsqu'elles s'approchent de la Terre, elles sont déviées par le champ magnétique terrestre et sont concentrées vers les régions polaires. Bien que le mécanisme des aurores polaires ne soit pas encore connu d'une manière satisfaisante, on pense que l'illumination de la haute atmosphère pendant les aurores est provoquée par les chocs de ces particules avec les gaz présents.

Les aurores polaires montrent, fréquemment, les raies de l'hydrogène dans leur spectre. Il ne semble pas, néanmoins, que l'hydrogène soit un des constituants permanents de la très haute atmosphère. Ses atomes y seraient déversés, de temps à autre, par le

DÉPART D'UNE "AEROBEE"

UN LABORATOIRE EN RÉDUCTION

Les fusées Aerobee peuvent emporter une charge utile de 70 kg à près de 100 km d'altitude. Celle dont on voit ci-contre l'équipement scientifique était destinée à l'observation et à la mesure du rayonnement cosmique. Elle fut lancée du navire américain « Norton Sound ». Les résultats des mesures étaient transmis d'une manière continue par l'émetteur radio.

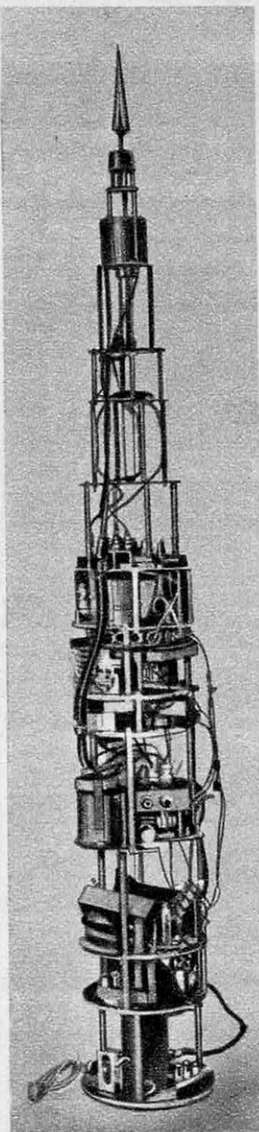
Soleil, à la manière d'une « pluie ». Mais, à cause de leur légèreté et de la valeur élevée de la température, ils possèdent des vitesses si grandes qu'ils doivent se disperser rapidement dans l'espace.

LES MÉTÉORITES

Deux sortes de projectiles, dont nous n'avons pas encore parlé et qui intéressent évidemment les futurs astronautes, tombent continuellement sur la Terre : les météorites et les rayons cosmiques.

Précisons d'abord la terminologie. Le mot « météore » indique, comme on le sait, le phénomène lumineux que l'on appelle vulgairement une « étoile filante » ; il est dû à un corpuscule minéral qui devient lumineux par frottement lorsqu'il pénètre dans notre atmosphère. Dans le langage scientifique, la météorite désigne cette particule. Lorsque les météorites ont une masse suffisante pour parvenir jusqu'au sol sans être volatilisées, on leur donne les noms de bolides, d'aérolithes, et d'autres encore.

Le nombre de météorites tombant sur la Terre est vraiment fantastique : il est de plusieurs milliards par jour, en dehors des périodes bien connues des grands essaims. On estime que la masse de matière captée ainsi par la Terre est sensiblement d'une tonne par jour. Les vitesses des météorites sont très grandes, comprises le plus souvent entre 25 et 75 kilomètres par seconde. Notre atmosphère nous protège contre cette averse permanente de projectiles, puisque la très grande majorité d'entre eux sont freinés et consumés avant d'atteindre le sol. C'est généralement entre 80 et 120 kilomètres d'altitude qu'ils deviennent lumineux. Nettement au-dessus de ces altitudes, les météorites n'ont pratiquement subi encore aucun freinage. Heureusement, leur masse est le plus souvent fort petite, d'un milligramme ou moins encore. Celles dont la masse est de cet ordre ne constitueront pas des projectiles dangereux pour les astronautes, protégés dans leur cabine. Par contre, on estime que déjà celles dont la masse atteint seulement 2 centigrammes sont capables, à cause de leur vitesse, de traverser une plaque d'acier épaisse d'un centimètre. Mais les statistiques sont là pour nous rassurer ; elles montrent que le nombre



ANTENNE TRANSMETTANT
LES MESURES AU SOL

DÉTECTEUR MAGNÉTIQUE

COMPTEUR DE GEIGER
ENTOURÉ DE PLOMB

COMPTEUR DE GEIGER NU

ECHELLES DE COMPTAGE
D'IMPULSIONS DES
COMPTEURS DE GEIGER

ÉMETTEURS RADIO ET
BATTERIES SÈCHES

PANNEAU DE JONCTION
ET COMMUTATEURS

FILTRES ET BATTERIES
A HAUTE TENSION

CIRCUITS DU
MAGNÉTOMÈTRE

TÉLESCOPES DE COMPTEURS
POUR RAYONS COSMIQUES
L'UN AVEC 2 cm DE PLOMB

CIRCUITS DES TÉLESCOPES
A COINCIDENCES

COMMUTATEUR POUR
LES CELLULES
PHOTOÉLECTRIQUES
D'ORIENTATION

CELLULES
PHOTOÉLECTRIQUES

de météorites tombant sur la Terre décroît très vite lorsque leur masse augmente ; elles montrent aussi qu'une météorite de 2 centigrammes n'atteindra guère une surface donnée de 100 mètres carrés qu'une fois en 2 000 ans. La probabilité d'un choc catastrophique est donc, on le voit, fort faible.

Les périodes des essaims de météorites, pour lesquelles les conditions sont moins favorables, ne sont évidemment pas à recommander.

LES RAYONS COSMIQUES

L'étude de ces rayons est une de celles qui ont le plus passionné les chercheurs de ce temps. Elle est aussi une de celles qui ont été les plus fécondes en découvertes sensationnelles. Et pourtant, malgré les très nombreuses recherches entreprises, l'origine de ces rayons n'est pas encore éclaircie. Un point est acquis : les phénomènes que l'on observe au voisinage du sol sont complexes parce que, pendant la traversée de l'atmosphère, les rayons cos-

PROBABILITÉS D'IMPACT DE MÉTÉORITES DE TAILLES DIVERSES SUR UNE CIBLE DE 100 M²

Diamètre	1,3 cm	0,5 cm et plus	0,11 cm et plus	0,05 cm et plus	0,02 cm et plus	0,005cm et plus
Nombre moyen de rencontres par heure	$1,86 \times 10^{-10}$	$4,78 \times 10^{-8}$	$4,90 \times 10^{-7}$	$7,75 \times 10^{-6}$	$4,90 \times 10^{-5}$	$1,96 \times 10^{-3}$
Intervalle moyen entre deux rencontres	612 000 ans	23 900 ans	233 ans	14 ans 8 mois	2 ans 4 mois	21 jours
Probabilité d'au moins une rencontre en 24 heures	$4,47 \times 10^{-9}$	$1,15 \times 10^{-7}$	$1,18 \times 10^{-6}$	$1,86 \times 10^{-4}$	$1,18 \times 10^{-3}$	0,046

miques rencontrent des atomes qu'ils fragmentent en particules stables ou instables, telles que neutrons, protons, particules alpha, mésons, etc. A leur tour, ces particules produisent des réactions nucléaires, avec libération de plusieurs particules ; c'est le phénomène spectaculaire bien connu des « gerbes » ou des « étoiles » nucléaires. Mais les rayons cosmiques primaires, c'est-à-dire ceux qui atteignent les confins de notre atmosphère, sont essentiellement des protons, dont l'énergie cinétique est telle que les physiciens n'avaient jamais rencontré auparavant des particules en possédant une semblable et qu'ils n'ont pas encore réussi à en créer d'aussi grande. On sait que l'on a l'habitude d'exprimer l'énergie des particules électrisées en électronvolts et que cette quantité représente l'énergie acquise par un électron lorsqu'il est accéléré dans un champ d'un volt. Or l'énergie des protons cosmiques primaires se chiffre par milliards et même par centaines de milliards d'électronvolts !

Dans la radiation cosmique primaire, les protons sont accompagnés d'une petite proportion de noyaux plus lourds (hélium, carbone, azote, etc., et même fer) entièrement dépouillés de leurs électrons. Malgré leur plus petit nombre, ces noyaux lourds transportent, en raison de leur masse, une fraction importante de l'énergie primaire.

Lorsque ces particules chargées positivement s'approchent de la Terre, le champ magnétique terrestre agit sur elles ; il dévie dans l'espace

les particules de faible énergie et disperse plus ou moins les autres suivant la latitude. Les rayons cosmiques sont moins nombreux à l'équateur qu'aux pôles magnétiques ; mais l'énergie de ces particules y est, en moyenne, plus grande.

On évalue le flux d'énergie primaire des rayons cosmiques, avant la dispersion par le champ magnétique terrestre, à 4 milliards environ d'électronvolts par centimètre carré et par seconde.

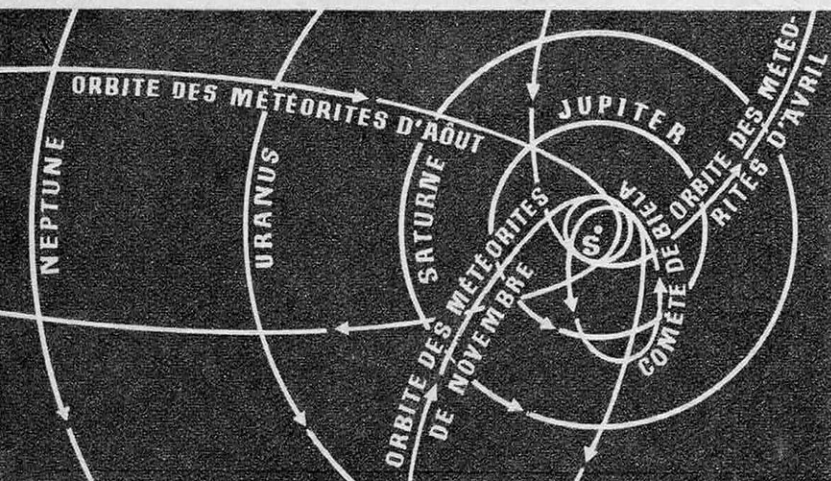
Notre corps est habitué à être traversé continuellement par les rayons cosmiques, après leur filtrage par l'atmosphère. Quant à savoir si, avant ce filtrage, leur action peut être funeste, c'est une question que nous ne discuterons pas ici.

Le Soleil émet certainement des rayons cosmiques, mais sa contribution, probablement faible, est encore mal connue. Des observations récentes ont montré que l'intensité des rayons cosmiques croît un peu aux moments des éruptions chromosphériques intenses. Nous avons déjà parlé de l'accroissement du flux des radiations ultraviolettes, qui accompagne ces éruptions. Nous trouvons une nouvelle raison pour que les astronautes évitent, dans la mesure possible, ces manifestations.

L'ESPACE INTERPLANÉTAIRE

Les conditions ne changeront que d'une manière progressive lorsque les astronautes, abandonnant la Terre, pénétreront dans l'espace interplanétaire ou même inter-stellaire.

Le chemin est long... Il y a beaucoup d'espace entre les planètes. C'est, dans un sens, une circonstance heureuse, car, outre les planètes, une foule d'objets circulent autour du Soleil : 1 500 comètes au moins,



◀ Les corps célestes qui gravitent autour du Soleil comprennent, outre les planètes principales, des essaims d'astéroïdes, débris d'anciennes comètes, qui demeurent groupés sur l'orbite des comètes qui leur ont donné naissance. L'orbite terrestre traverse plusieurs de ces essaims ; ainsi s'expliquent les pluies de météorites observées à certaines périodes de l'année.

un nombre peut-être 20 fois plus grand d'astéroïdes (ou petites planètes), dont les dimensions varient entre quelques centaines de kilomètres et quelques centaines de mètres, enfin des météorites. On distingue, rappelons-le, trois parties dans une comète : le noyau, qui apparaît comme un point brillant, la chevelure, diffuse autour de lui, et enfin la queue. Le noyau n'a guère des dimensions dépassant 1 000 km ; il est formé par un essaim de petits corps solides, maintenus rassemblés par leur attraction mutuelle. Quant à la chevelure, elle occupe souvent un volume énorme, qui peut dépasser celui du soleil ; et la queue peut avoir une longueur supérieure à la distance de la terre au soleil. La chevelure et la queue sont formées de gaz raréfiés, qui n'auraient aucun effet, aucune action sur les astronautes, ni leur véhicule. C'est à cause de leur nombre que la rencontre des météorites est la plus à redouter et particulièrement celle des essaims. On possède, il est vrai, une indication, puisqu'on sait que les essaims de météorites sont des débris de comètes et circulent près des trajectoires de celles-ci.

Si le véhicule s'éloigne ou s'approche franchement du Soleil, un dispositif devra être prévu pour modifier l'absorption du rayonnement solaire par la nacelle, de façon à maintenir à son intérieur une température convenable. Comme on le sait, la température prise par un corps dans l'espace interplanétaire ou intersidéral dépend des propriétés absorbantes de sa surface. C'est un problème bien connu des physiciens. Contrairement à une opinion courante, ce n'est pas une surface parfaitement noire qui s'échauffe le plus, car, si elle absorbe mieux que toute autre, elle rayonne aussi de la chaleur mieux que toute autre. L'observation journalière nous montre d'ailleurs que les objets métalliques exposés au Soleil, les toitures en zinc par exemple, s'échauffent plus que les corps noircis. Cette propriété vient de ce que les métaux absorbent très peu les grandes longueurs d'onde et davantage les radiations plus courtes, comme celles du Soleil ; leur pouvoir émissif, proportionnel pour chaque radiation au pouvoir absorbant, est donc sensiblement nul pour les grandes longueurs d'onde, c'est-à-dire dans la région spectrale où un corps noir émet le plus aux températures considérées. Le métal n'émettant pas, la température qu'il prend est donc bien supérieure à celle que prend un corps noir. Si d'ailleurs l'on envisage le cas théorique d'un corps possédant une seule bande d'absorption, sa température d'équilibre varie avec la longueur d'onde moyenne de cette bande et peut rester élevée même à une grande distance du Soleil. Ainsi, pour une distance égale à la distance du Soleil à la Terre, une sphère noire prendrait une température de + 10°C ; si sa surface absorbe vers 10 microns, la température sera nettement plus basse, voisine de - 140°C ; au contraire, pour une bande d'absorption vers un micron, la température dépassera 700°C. Et, dans ce dernier cas, la température d'équilibre restera encore supérieure à

400°C si la sphère est placée très loin du Soleil, à une distance égale à celle qui sépare la planète Neptune du Soleil.

L'ESPACE INTERSTELLAIRE

Une découverte très remarquable de l'astronomie au cours des récentes années est celle qui a mis en évidence la présence de matière

MÉTÉORITES REÇUES PAR LA TERRE EN 24 H

Diamètre (cm)	Masse (g)	Nombre	Nombre total
1,3	4	28 000	28 000
0,97	1,6	71 000	99 000
0,71	0,6	180 000	280 000
0,5	0,25	450 000	730 000
0,4	0,1	1 100 000	1 900 000
0,3	0,04	2 800 000	4 700 000
0,2	0,016	7 100 000	12 000 000
0,15	0,006	18 000 000	30 000 000
0,11	0,002	45 × 10 ⁶	75 × 10 ⁶
0,08	0,001	110 × 10 ⁶	120 × 10 ⁶
0,06	0,0004	280 × 10 ⁶	470 × 10 ⁶
0,05	0,0002	710 × 10 ⁶	1 200 × 10 ⁶
0,03	0,00006	18 × 10 ⁸	30 × 10 ⁸
0,02	0,000025	45 × 10 ⁸	75 × 10 ⁸
0,005	2,5 × 10 ⁻⁷	45 × 10 ¹⁰	75 × 10 ¹⁰
0,001	2,5 × 10 ⁻⁹	45 × 10 ¹²	75 × 10 ¹²
0,0002	2,5 × 10 ⁻¹¹	45 × 10 ¹⁴	75 × 10 ¹⁴
0,00005	2,5 × 10 ⁻¹³	45 × 10 ¹⁶	75 × 10 ¹⁶

dans l'espace interstellaire que l'on croyait, il y a cinquante ans à peine, absolument vide ou parcouru seulement par quelques météorites. Cette matière existe sous deux formes principales : des atomes ou des groupes d'atomes et, d'autre part, des poussières.

Certains atomes, particulièrement ceux des métaux (sodium, calcium, fer, etc.) révèlent leur présence par les « raies interstellaires » que l'on trouve dans des spectres d'étoiles, où, normalement, on ne devrait pas les rencontrer. Pour l'hydrogène, on a diverses observations concordantes ; une des dernières a été fournie par la technique toute nouvelle de la radioastronomie, qui a reconnu l'émission, prévue par la théorie, d'ondes de 21 centimètres par les atomes d'hydrogène dispersés dans toute la Galaxie.

Bien que les rencontres entre atomes soient rares dans l'espace interstellaire, il se forme quelques groupes d'atomes, tels que CH, CN, etc., identifiés par leurs bandes d'absorption. Finalement, les atomes les plus abondants dans l'espace interstellaire sont ceux qui sont les plus fréquents dans les étoiles, donc, en premier lieu, l'hydrogène, puis l'hélium. Fréquemment les atomes sont ionisés ; dans ce cas, l'espace contient aussi de nombreux électrons.

Les observations montrent que certaines régions de l'espace contiennent nettement plus de matière interstellaire que d'autres. Le nombre d'atomes d'hydrogène varie, par exemple, de 10 et même 100 atomes par centi-

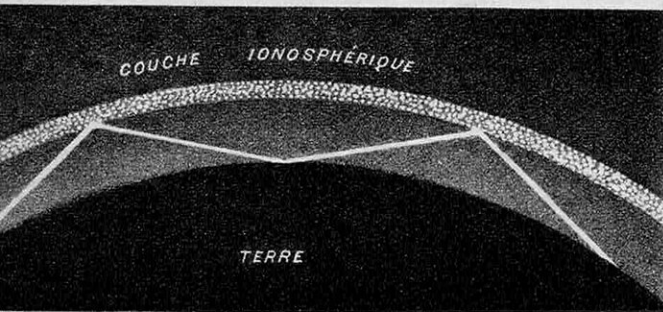
mètre cube à un atome pour 10 centimètres cubes.

D'autres phénomènes mettent en évidence qu'il existe aussi dans l'espace intersidéral des poussières minuscules, dont les dimensions sont inférieures au micron. Ainsi on constate que certaines étoiles lointaines, dont on a déterminé indépendamment l'éclat intrinsèque et la distance, ont un éclat apparent trop faible. En plus de cette absorption générale, la poussière interstellaire produit d'ailleurs un rougissement des étoiles lointaines, comme le ferait un brouillard.

L'absorption de la lumière, variable suivant la direction, donne, par exemple, l'impression qu'une étoile située à 1 000 années-lumière paraît 5 fois ou 10 fois plus lointaine. En gros, les grains de poussière sont 100 milliards de fois moins nombreux que les atomes d'hydrogène.

Un autre effet, très singulier, de la poussière interstellaire a été reconnu récemment : la lumière des étoiles lointaines est polarisée et le degré de polarisation croît avec la distance. Les théoriciens ne sont pas encore d'accord sur l'explication à donner de ce phénomène. Il est dû vraisemblablement à une orientation générale des grains de poussière, qui auraient une forme allongée ; peut-être même ont-ils des propriétés magnétiques et leur orientation pourrait être produite par un champ magnétique, tel que celui dont Fermi suppose la présence dans la Galaxie, dans sa théorie sur l'origine des rayons cosmiques.

La matière interstellaire n'est pas du tout distribuée uniformément dans l'espace ; au contraire elle se trouve comme rassemblée dans des « nuages », à l'intérieur desquels la densité atteint ou même dépasse mille fois la valeur qu'elle a à leur extérieur. On ne possède encore que des informations incomplètes sur ces nuages. Leurs tailles et leurs masses sont variables. Les dimensions des plus petits sont de 5 ou 6 années-lumière et la masse de matière qu'ils contiennent vaut 10 fois la masse du Soleil. Les plus gros ont des dimensions 50 fois plus grandes, mais ils sont généralement moins denses et leur masse est 10 000 fois celle du Soleil. Lorsque ces nuages sont assez épais, nous les distinguons dans le ciel, car ils cachent les étoiles situées au-delà. Ils sont particulièrement nombreux dans la Voie Lactée, où ils apparaissent comme des masses noires, irrégulières, se découpant sur le fond lumineux.



Il se déplacent par rapport aux étoiles, avec des vitesses qui sont du même ordre de grandeur que celles animant les étoiles, soit une cinquantaine de kilomètres par seconde comme valeur moyenne. On prévoit que ces nuages doivent se rencontrer et changer de forme au cours des temps.

Il ne faut pas se former, d'après la description précédente, une image fautive de la matière interstellaire. Cette matière est assez dense pour exercer une absorption sensible sur la lumière des étoiles lointaines ; mais les distances qui interviennent dépassent alors tellement les limites de notre imagination qu'il s'agit finalement d'une matière extraordinairement ténue, au moins un million de fois plus diluée que le « vide » le meilleur actuellement réalisable au laboratoire. Si l'on trouve, en moyenne, un atome par centimètre cube dans l'espace interstellaire, souvenons-nous qu'il y a 30 milliards de milliards de molécules dans un centimètre cube de l'air que nous respirons. Un volume d'espace grand comme la Terre, découpé dans un nuage de matière obscurcissante, aurait à peine une masse de l'ordre du kilogramme. Et pourtant, la matière interstellaire, malgré sa densité extrêmement petite, occupe un espace tellement vaste — autrement dit, les étoiles sont si distantes les unes des autres — que certains savants ont estimé que la masse totale dispersée dans la Galaxie est aussi grande que celle de toutes les étoiles. Mais d'après certaines découvertes récentes, en particulier celle des étoiles superinfrarouges, sources ponctuelles de rayonnement radio-électrique, la balance pencherait nettement du côté des étoiles.

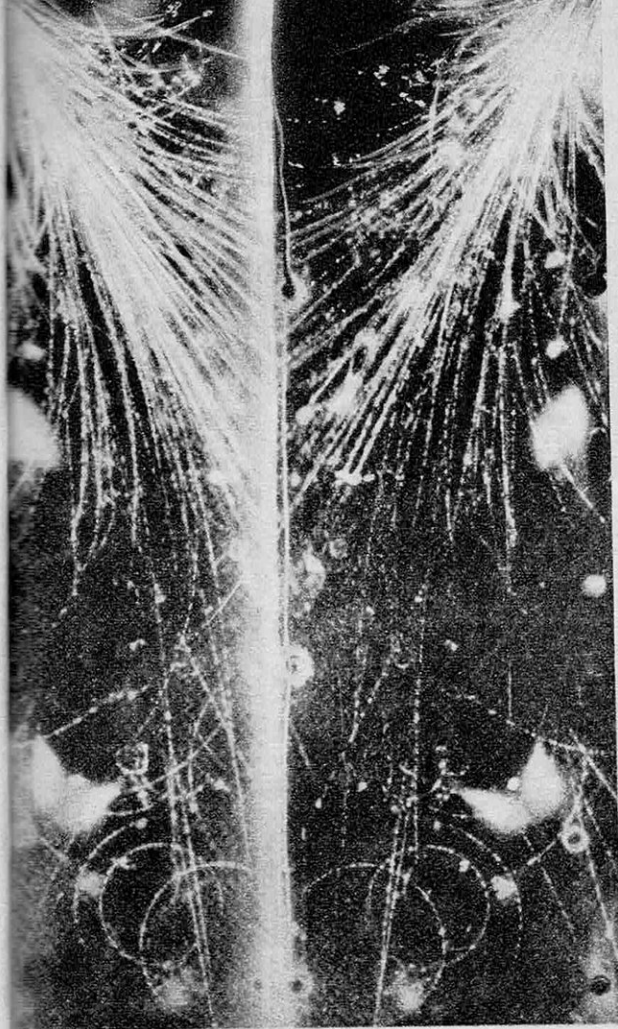
On a maintenant des preuves qu'il existe aussi de la matière encore plus diluée, en dehors de notre Galaxie, entre les nébuleuses extragalactiques elles-mêmes.

L'absorption de la lumière nous prouve la présence de la matière interstellaire sous la forme de gaz et de poussières, mais ne nous apprend rien sur les particules plus grosses, telles que les météorites. Celles-ci sont certainement moins nombreuses, en moyenne, dans l'espace interstellaire, qu'elles ne le sont au voisinage du Soleil.

Quant au flux de rayons cosmiques, il garde probablement une valeur à peu près constante dans toute notre Galaxie.

Arrivons maintenant à la question du flux de lumière et de chaleur, puis à celle, qui lui est liée, de la température. Nous considérons le cas général, c'est-à-dire une région de la Galaxie suffisamment éloignée de toute étoile. Pour évaluer le rayonnement provenant de l'ensemble des étoiles, on classe celles-ci d'après leurs éclats et leurs types spectraux, puis on fait la somme des énergies. On trouve que le rayonnement reçu équivaut à celui d'une

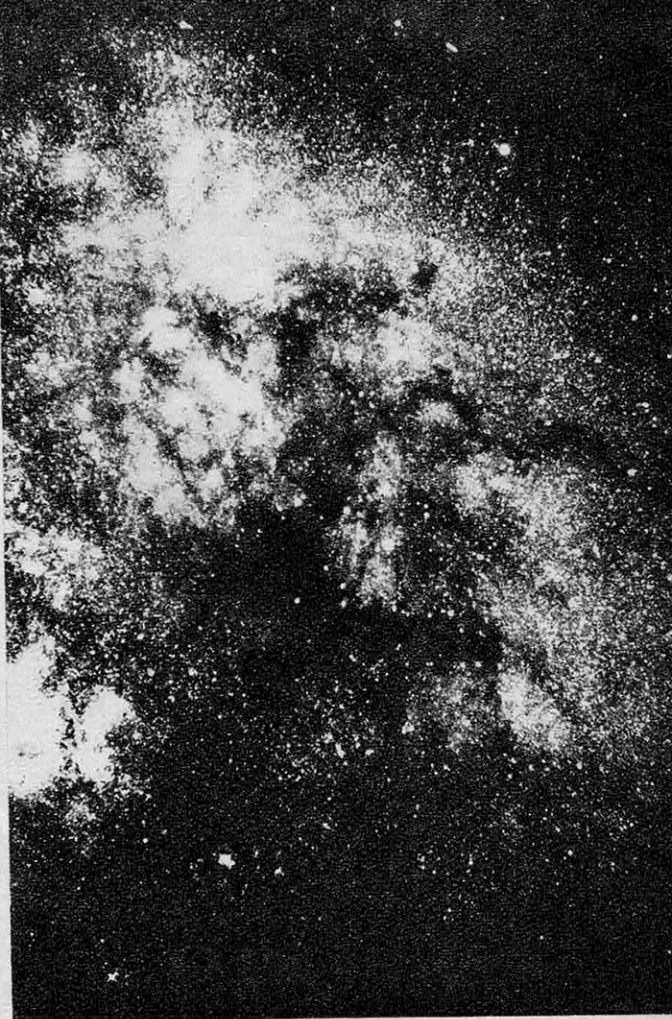
◆ Les radiations ultraviolettes du Soleil sont capables, dans la haute atmosphère, d'arracher un électron aux atomes ou aux molécules et de les ioniser. Les gaz ionisés réfléchissent les ondes courtes de la radio.



● Photographie stéréoscopique d'une gerbe de rayons cosmiques obtenue à la station de l'Argentière (altitude 1 200 m), dans une chambre de Wilson de 80 cm, par les chercheurs de l'équipe de M. Leprince-Ringuet.

bougie placée à une distance de 100 mètres. Or, malgré cette très faible valeur de l'énergie incidente, les atomes et les électrons de l'espace interstellaire ont une « température » élevée. Ce résultat, qui semble paradoxal, est dû à une propriété de l'effet photoélectrique : lorsqu'un photon ou « grain de lumière » arrache à un atome un électron, celui-ci est généralement expulsé avec une grande vitesse. En tout cas, cette vitesse dépend de la qualité du rayonnement, et non de sa quantité. Dans l'espace interstellaire, la lumière des étoiles lointaines produit ainsi continuellement des électrons à grande vitesse, donc à température élevée. Electrons et atomes gardent cette température, car ils ne peuvent perdre de l'énergie que par des collisions, qui sont fort rares. On estime qu'un atome n'en rencontre un autre qu'une fois par an.

On a trouvé, pour la température moyenne du gaz interstellaire, une valeur de 10 000°C, voisine donc de la température superficielle des étoiles chaudes. Mais plusieurs propriétés ont révélé qu'il existe des régions étendues de l'espace où l'effet photoélectrique ne se pro-



● Cette vue de la Voie Lactée, prise dans la constellation du Sagittaire, met en évidence l'existence de vastes nuages de matière à l'état de poussière ou de molécules isolées qui absorbent la lumière des étoiles lointaines.

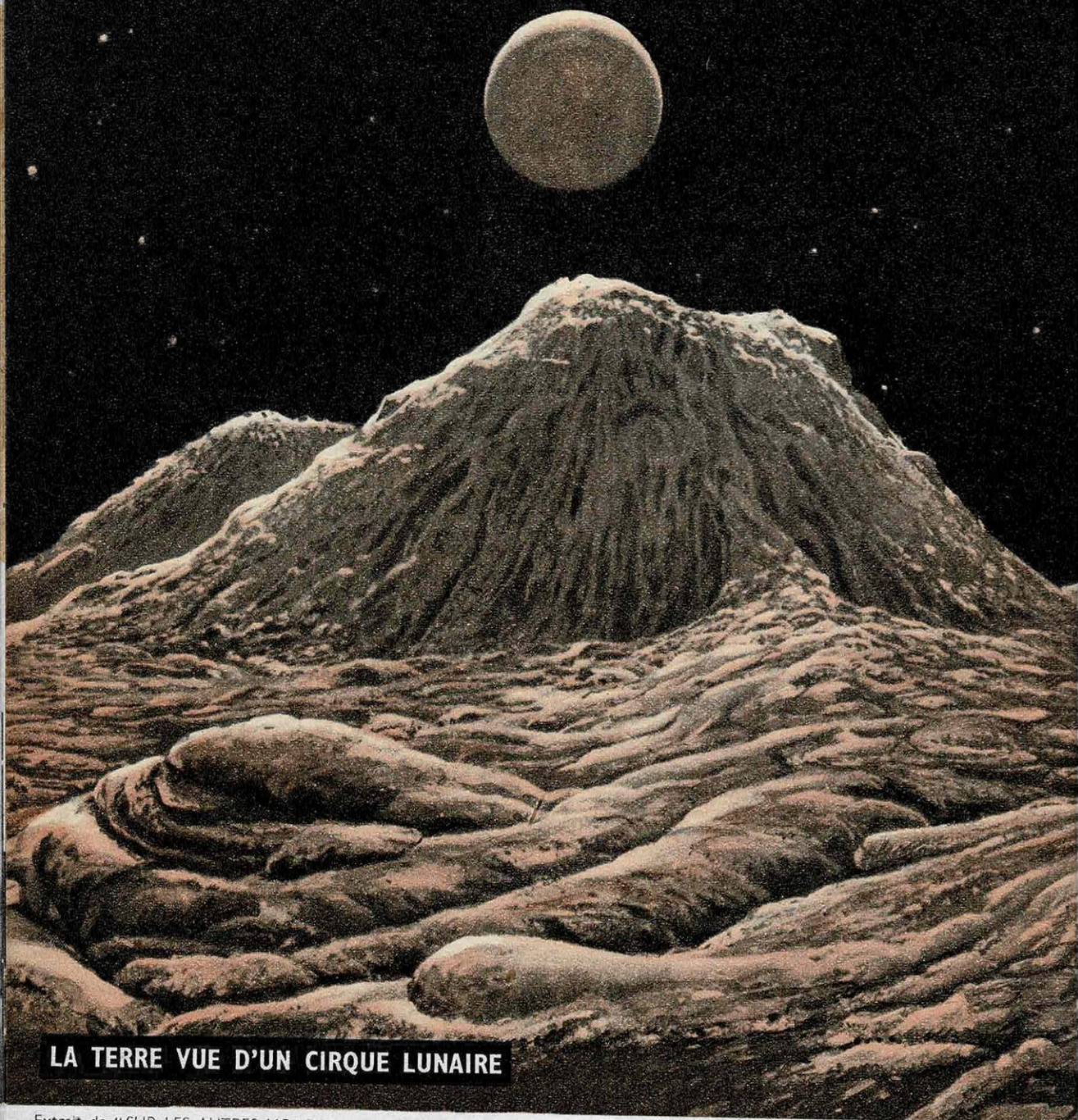
duit pratiquement pas. Dans ces régions, la température du gaz cosmique serait basse, voisine de -200°C .

On ne peut pas considérer la température du gaz comme étant celle de l'espace interstellaire. En fait, l'expression « température de l'espace interstellaire » n'a guère de sens, car la température prise par un corps solide dans cet espace diffère de celle du gaz et, nous l'avons déjà dit, varie avec les propriétés absorbantes de ce corps. On a calculé, par exemple, qu'une sphère parfaitement noire, éloignée de toute étoile, prendrait une température de 3° environ au-dessus du zéro absolu, c'est-à-dire de -270° dans l'échelle centigrade ordinaire. Mais, si, au lieu d'être noire, sa surface possède la propriété d'absorber le rayonnement pour les radiations comprises dans une bande convenable de longueur d'onde, l'équilibre thermique se réalisera pour une température voisine de 0° ou même largement supérieure, malgré l'extrême faiblesse du rayonnement incident.

J. Gauzit.

Astronome à l'Observatoire de Lyon.

CE QUE NOUS SAVONS



LA TERRE VUE D'UN CIRQUE LUNAIRE

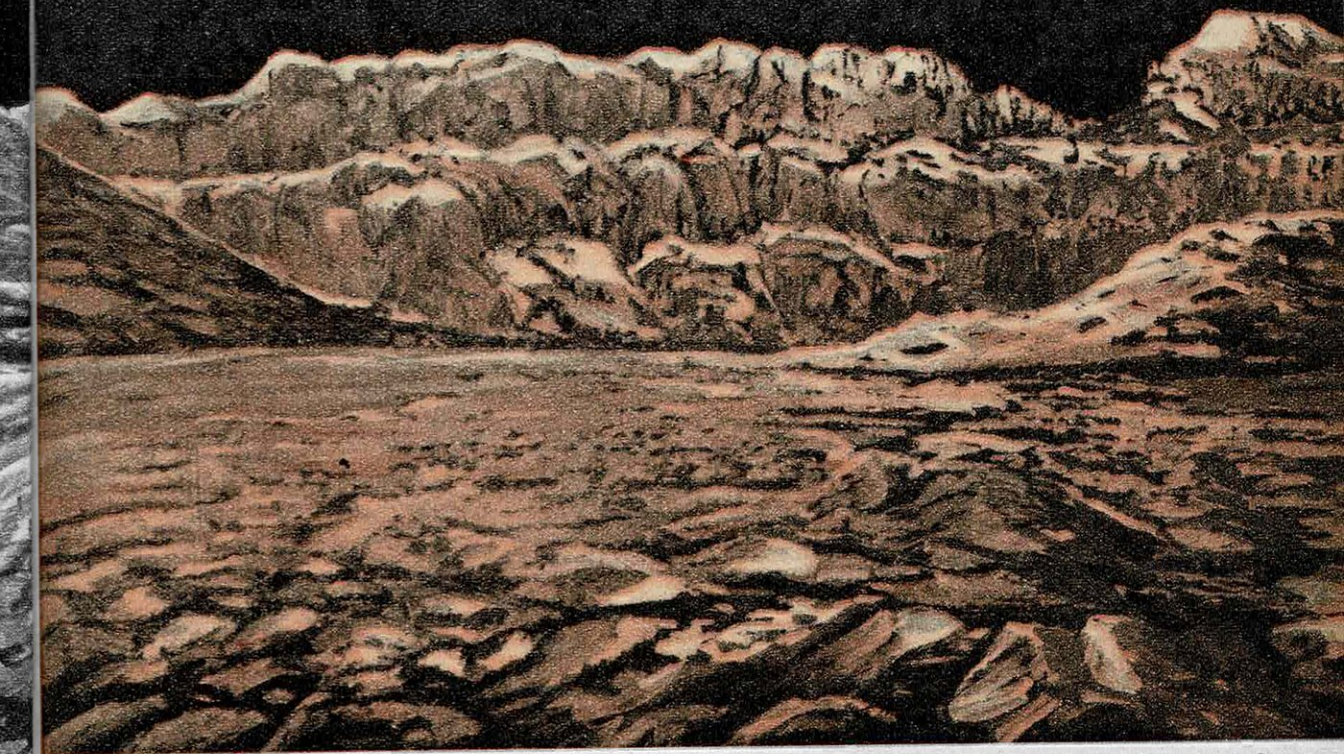
S DE LA LUNE ET DES PLANÈTES

Si les hommes parviennent un jour à atteindre la Lune ou une autre planète, à se poser sur elle et à revenir ensuite sur la Terre, ils rapporteront évidemment une foule d'informations que seule cette visite directe permettra d'obtenir. Pour le moment, ceux qui s'intéressent au projet de ce difficile voyage doivent connaître les résultats, patiemment acquis par les astronomes, relatifs aux conditions physiques régnant sur ces objets célestes. En effet, l'analyse des rayons lumineux nous parvenant de ces astres a permis d'acquérir des renseignements nombreux, dont la précision et la variété surprennent ceux qui ne sont pas familiarisés avec les techniques de la physique moderne. Nous allons résumer ces recherches, en insistant sur les résultats obtenus.

LA LUNE

La Lune, satellite de la Terre, tourne autour d'elle à une distance moyenne de 384 400 kilomètres. La période de révolution réelle de la Lune sur son orbite, ou

révolution sidérale, est de 27 jours 7 heures 43 minutes. On n'aperçoit à l'œil nu aucun détail distinct de sa surface, mais en observant avec de simples jumelles, on en distingue suffisamment les principaux caractères pour se rendre compte que la Lune tourne toujours la même face vers la Terre. La durée de sa rotation sur elle-même est en effet égale à celle de sa révolution autour de la Terre. Il en résulte que le « jour » lunaire est 27 fois plus long que le jour terrestre. On explique en général cette propriété de la manière suivante : la Terre exerce sur la Lune des forces de marée, analogues à celles que la Lune exerce sur la Terre; tant que la Lune a été assez plastique, elles l'ont déformée et le frottement qui en résultait a freiné la rotation de la Lune jusqu'à ce que, au bout de quelques millions d'années, notre satellite tourne toujours vers la Terre la même face. Ainsi la face opposée nous est-elle actuellement inconnue, et une des premières tâches qui incombera aux astronautes sera d'étudier ses détails et de les photographier au cours



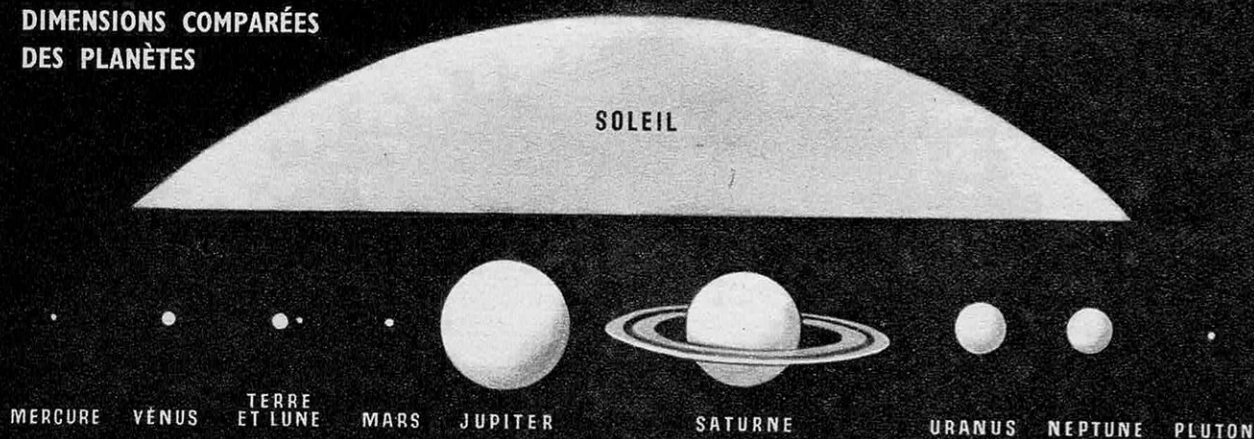
de voyages circumlunaires. Des engins non montés et équipés d'appareils automatiques suffiront d'ailleurs à cette tâche.

Signalons que si la théorie qui explique l'égalité des durées de rotation et de révolution de la Lune est exacte, les marées créées sur la Terre par l'action de la Lune doivent freiner la rotation de la Terre. On a pu ainsi calculer que, dans 50 milliards d'années, la Terre tournera toujours la même face vers la Lune : ainsi les habitants d'un hémisphère verront toujours la Lune dans leur ciel, tandis que ceux de l'autre hémisphère ne la verront jamais.

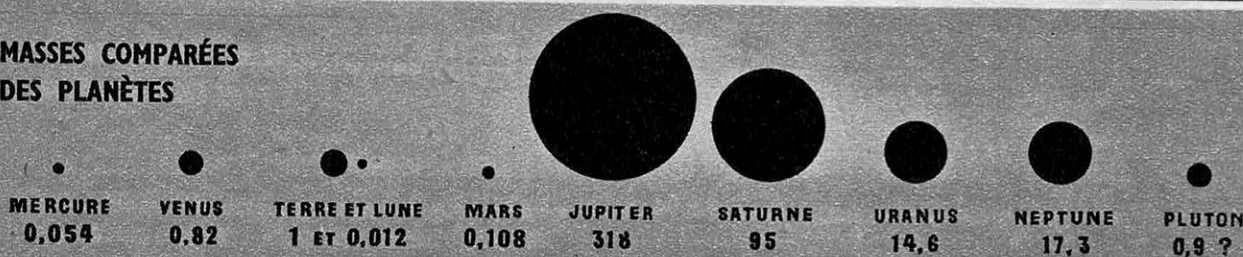
La Lune est 81 fois moins massive que la Terre, et son diamètre est environ 4 fois plus petit;

vitesse sont groupées autour d'une valeur moyenne, qui est proportionnelle à la racine carrée de la température absolue et inversement proportionnelle à la masse moléculaire ou atomique du gaz. A titre d'exemple, cette vitesse est, dans les conditions ordinaires, de 1 800 mètres par seconde pour l'hydrogène et de 480 mètres par seconde pour l'azote. Tout projectile dont la vitesse dépasse une « valeur critique » s'échappe dans l'espace, la force de gravité n'étant pas suffisante pour le retenir. Cette valeur critique est de 2,4 kilomètres par seconde pour la Lune, tandis qu'elle atteint 11,2 kilomètres par seconde pour la Terre. Les gaz formant les atmosphères des planètes

DIMENSIONS COMPARÉES DES PLANÈTES



MASSES COMPARÉES DES PLANÈTES



il en résulte que la gravité à sa surface est 6 fois plus faible que celle existant à la surface de la Terre. Avec le même effort, un homme sauterait sur la Lune une longueur 6 fois plus longue que sur notre globe, ou une hauteur 6 fois supérieure; il pourrait porter un fardeau 6 fois plus loin ou soulever une masse 6 fois plus grosse.

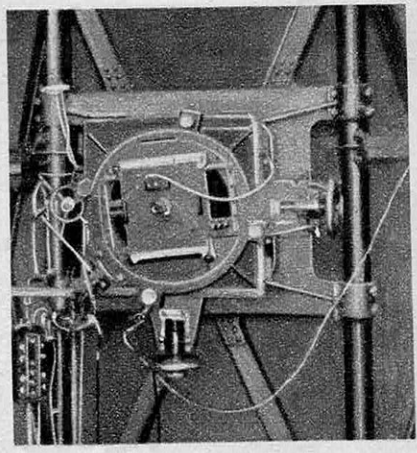
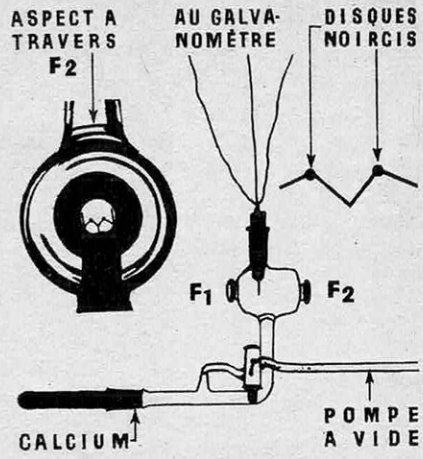
Cette faible valeur de la gravité explique diverses propriétés de la Lune, notamment l'absence d'atmosphère.

Les gaz sont formés de minuscules particules — molécules ou atomes — qui se déplacent à de grandes vitesses et se comportent comme de véritables projectiles, capables de s'échapper dans l'espace si leur vitesse est suffisante. Or plus les gaz sont légers ou leur température élevée, plus grande est la vitesse de ces particules. Par l'effet des chocs, les

CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME SOLAIRE	DIAMÈTRE		VOLUME
	km	terre = 1	terre = 1
MERCURE.....	5 000	0,39	0,06
VÉNUS.....	12 400	0,97	0,92
TERRE.....	12 740	1	1
LUNE.....	3 480	0,27	0,02
MARS.....	6 780	0,53	0,15
JUPITER.....	140 000	10,97	1300
SATURNE.....	115 000	9,0	730
URANUS.....	51 000	4,0	64
NEPTUNE.....	44 600	3,5	43
PLUTON.....	12 700 ?	1,0 ?	1 ?

(1) Température du corps noir à la distance moyenne de

Si on chauffe la soudure de deux fils faits de métaux différents, une tension électrique y apparaît. Ce dispositif (thermocouple) sert aux mesures précises de température. En astronomie, il permet de déterminer la température des astres par l'échauffement dans le vide d'un petit disque noir sur lequel on projette leur image. Avec les étoiles (sources ponctuelles), on mesure la différence des températures de deux petits disques dont un seul reçoit la lumière de l'étoile. A droite, un tel thermocouple installé sur un grand télescope.



se dispersent ainsi dans l'espace, cette dispersion étant d'autant plus lente qu'il s'agit de gaz lourds ou d'astres à forte gravité ou à basse température. La rapidité de cette dispersion dans l'espace varie d'ailleurs extraordinairement vite selon la valeur du rapport existant entre la vitesse moyenne des particules gazeuses et la vitesse critique. Ainsi pour que la moitié de l'atmosphère se dissipe dans l'espace, il suffit de quelques semaines lorsque ce rapport est égal à 1/3, mais il faut quelques centaines de millions d'années s'il est égal à 1/5.

D'après ces considérations, on comprend que la Lune ait perdu rapidement son atmosphère. Les observations confirment la théorie.

Tout d'abord, si la Lune avait une atmosphère comparable à la nôtre, elle serait beaucoup plus brillante. La proportion de lumière solaire qu'elle réfléchit est seulement de 7 %, tandis que, par exemple, une planète comme Vénus, dont l'atmosphère est dense et chargée de nuages, réfléchit 60 à 70 % de la lumière incidente. L'absence d'atmosphère est prouvée, d'autre part, par la netteté des bords du disque lunaire lorsqu'on l'observe dans une lunette, ou encore par l'absence de tout crépuscule sur la Lune, puisque le « terminateur » ou cercle séparant la partie éclairée de la partie obscure paraît toujours très finement délimité, aux accidents de relief près.

A plusieurs reprises, il faut le dire, des obser-

vateurs ont cru trouver des preuves qu'il existerait autour de la Lune une atmosphère très raréfiée. Ces prétendues preuves doivent être attribuées à une mauvaise interprétation des observations. En réalité, ces dernières, lorsqu'elles sont correctement comprises, démontrent qu'il n'y a pratiquement pas trace d'atmosphère. Des mesures récentes montrent qu'on ne trouve pas d'atmosphère dont la densité atteigne la proportion d'un milliardième de celle enveloppant la Terre. Parmi les observations en question, une des plus intéressantes par ses applications est celle relative aux occultations d'étoiles par la Lune. La Lune se déplace vers l'est par rapport aux étoiles, d'une distance angulaire approximativement égale, en une heure, à son propre diamètre. Les étoiles qui se trouvent sur son trajet sont occultées, c'est-à-dire cachées, lorsque le disque de la Lune passe devant elles. S'il existait la moindre atmosphère, la disparition d'une étoile serait progressive et accompagnée d'une variation de coloration. Des observations délicates ont prouvé que la décroissance quasi instantanée de la lumière est exactement celle prévue par la théorie de la diffraction, sans aucun effet décelable d'une enveloppe gazeuse autour de la Lune. Les variations observées ne sont pas tout à fait celles que l'on obtiendrait si l'étoile était un point géométrique. Des mesures précises ont permis d'évaluer, par une méthode toute

Masse	DENSITÉ		PESANTEUR à la surface	TEMPÉRATURE (1)	VALEUR DU JOUR SIDÉRAL	DURÉE DE L'ANNÉE	CONSTITUANTS PROBABLES DE L'ATMOSPHÈRE
	terre = 1	eau = 1					
0,054	4,1	0,75	0,3	445	88 j	88 j	Néant.
0,82	4,9	0,89	0,86	330	?	224,7 j	Gaz carbonique.
1	5,52	1	1	277	23 h 56 mn	365,25 j	Azote et oxygène.
0,012	3,3	0,6	0,17	277	27 j 7 h 43 m	—	Néant.
0,108	3,85	0,70	0,37	224	24 h 37 mn	687 j	?
318	1,34	0,24	2,64	122	9 h 56 mn	11,86 ans	Méthane, ammoniac (hydrogène ?)
95	0,71	0,13	1,17	90	10 h 14 mn	29,46 ans	Méthane, ammoniac (hydrogène ?)
14,6	1,26	0,23	0,91	63	10 h 42 mn	84,02 ans	Méthane (hydrogène ?)
17,3	2,2	0,40	1,39	51	15 h 48 mn	164,8 ans	Méthane (hydrogène ?)
0,9 ?	5,0 ?	0,9 ?	1 ?	44	?	248 ans	?

de la planète, en degrés absolus (température centésimale augmentée de 273°).

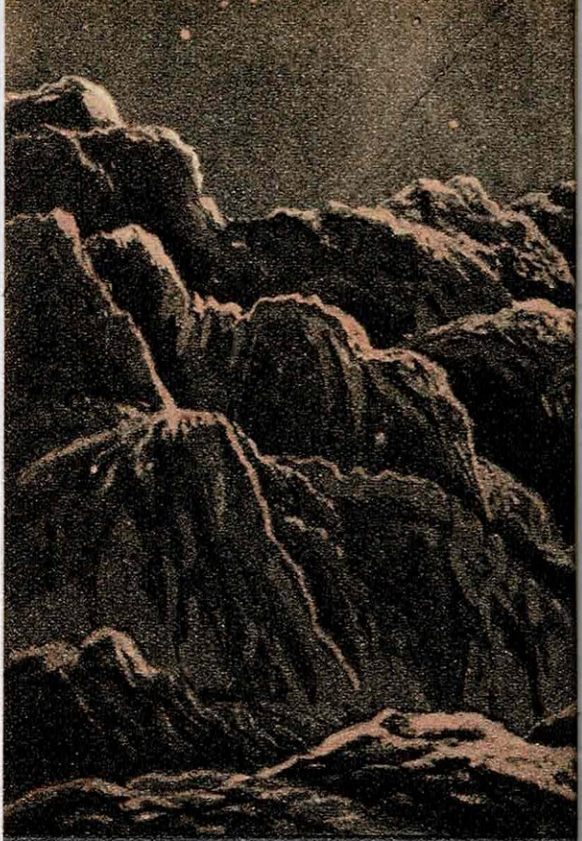
nouvelle, le diamètre apparent, extraordinairement petit, de quelques étoiles; l'accord avec les autres déterminations est excellent.

Puisqu'il n'y a pas d'atmosphère, il n'y a pas non plus d'eau, bien que l'on continue à appeler « mers » les régions sombres, unies, de la surface de la Lune. Pour désigner les détails de cette surface, on a conservé, en effet, les mots employés par Galilée, qui a été le premier à les apercevoir dans une lunette, en 1610. Or Galilée croyait, par exemple, que les vastes régions unies étaient des mers. Quant à la terminologie bizarre par laquelle on a l'habitude de désigner la plupart des détails de la surface lunaire, elle date du XVII^e siècle et fait appel à des noms de savants et philosophes de l'antiquité et à ceux de personnages modernes plus ou moins illustres. On compte 14 mers auxquelles on a donné des noms extravagants que les amateurs de sélénographie expriment le plus souvent en latin : océan des Tempêtes, mer des Pluies, mer de la Sérénité, mer de la Tranquillité, mer des Humeurs, etc.

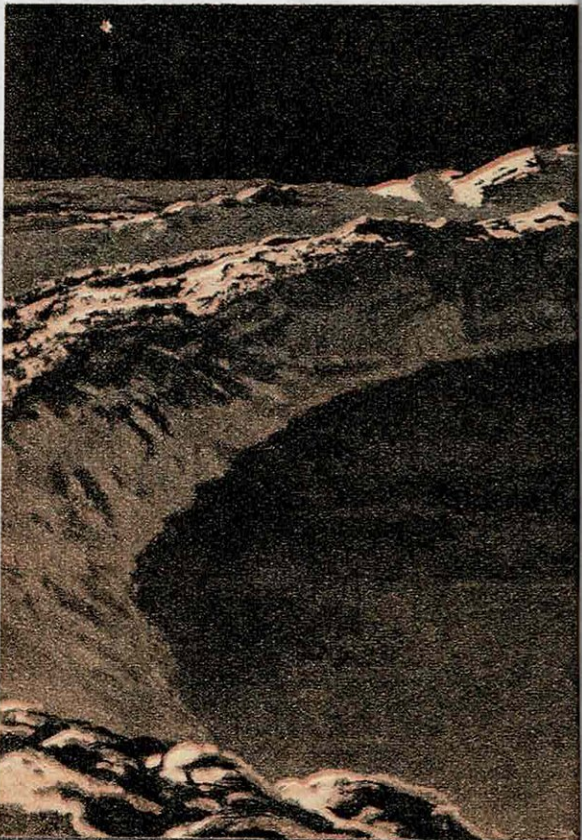
Le relief de la Lune est comparativement beaucoup plus accidenté que celui de la Terre. Rappelons seulement pour mémoire que les formations rondes désignées sous le nom de « cratères » sont très nombreuses, particulièrement dans la région sud de la Lune, puisqu'on en a dénombré 30 000. Citons parmi les plus remarquables : Copernic, Ptolémée, Hipparque, Crimaldi, Clavius, etc. Ce nom de cratère leur est souvent donné à cause de leur ressemblance avec les volcans terrestres. Quelques-uns possèdent vers leur centre un ou plusieurs pitons coniques dont l'altitude ne dépasse pas celle des bords : Ptolémée, par exemple, en montre 3. Les cirques lunaires accusent d'ailleurs une grande variété de dimensions et de formes ; les plus larges ont un diamètre de plus de 200 kilomètres. A côté des cirques de grands diamètres, on en voit un nombre beaucoup plus grand de moyennes ou faibles dimensions ; les plus petits sont à peine visibles dans les grands télescopes. La partie centrale des cirques est en général bien au-dessous de la surface moyenne du sol lunaire : Théophile a 5 500 mètres de profondeur ; celle de Newton dépasse 7 000 m.

Les montagnes dessinent parfois de véritables chaînes. Les plus connues sont celles qui bordent la mer des Pluies et la séparent de la mer de la Sérénité ; on leur a donné le même nom qu'à des montagnes terrestres : Apennins, Caucase, Alpes, tandis que d'autres montagnes portent le nom d'illustres savants, par exemple le mont Laplace, le mont Huygens, le mont Leibniz. Ce dernier atteint 8 200 m.

Signalons encore, parmi les détails caractéristiques de la surface lunaire, les rayons et les sillons, rainures ou crevasses. Les plus remarquables des rayons brillants qui semblent diverger de certains cratères sont ceux qui partent du cirque Tycho. Ils sont particulièrement nets au moment de la pleine lune et donnent alors à notre satellite, par leur étendue, quelque ressemblance avec une orange débar-



SUR LA LUNE, AU LEVER ET AU COUCHER

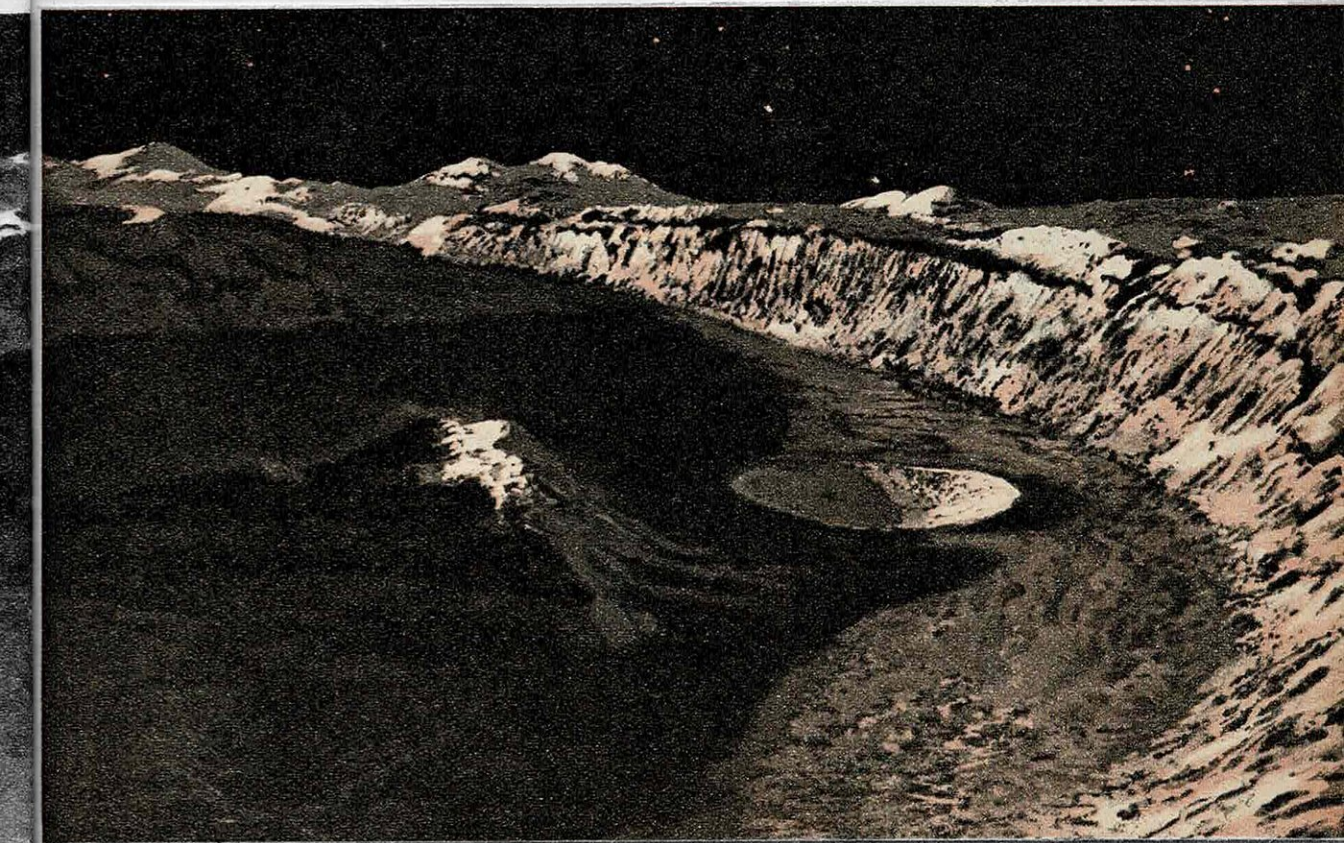


LE SOLEIL SE LÈVE SUR UN CIRQUE LUN

Dessins de L. Rudaux.



HE DU SOLEIL, L'ABSENCE D'ATMOSPHÈRE PERMET DE VOIR LES PROTUBÉRANCES SOLAIRES.

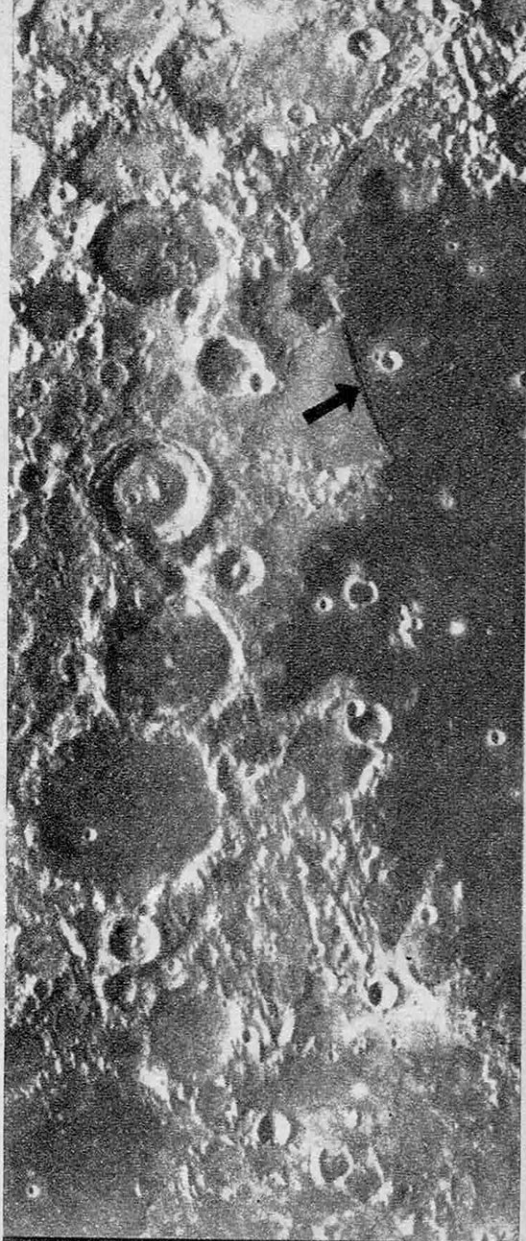


UN AIRE QU'UNE LUMIÈRE IMPLACABLE ÉCLAIRERA BIENTOT SOUS UN CIEL NOIR ET ÉTOILÉ.

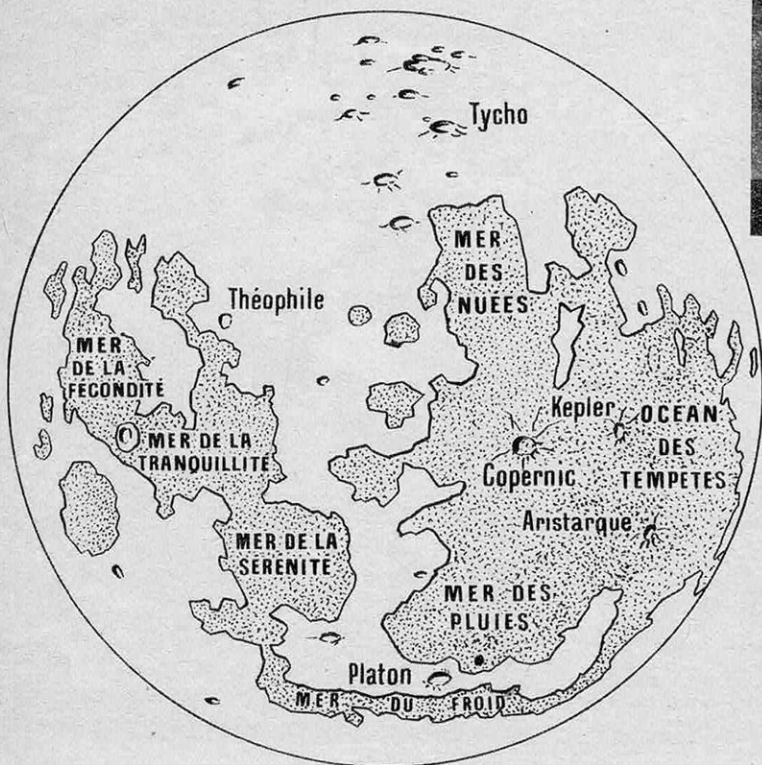
rassée de sa peau; par contre, ils sont à peine visibles aux phases partielles. Ceci s'explique : ils ne portent pas d'ombre et se révèlent seulement par leur couleur plus claire. On ne connaît pas la nature de ces rayons. Les sillons, rainures ou crevasses, longs d'une centaine de kilomètres et en général presque rectilignes, semblent se propager, comme les rayons, sans tenir compte des irrégularités de la surface.

L'origine du relief lunaire, et en particulier des cratères, a provoqué des discussions passionnées. Le terme « cratère » évoque une origine volcanique qui est loin d'être certaine. Une autre hypothèse attribue leur formation à la chute de météorites.

L'absence d'atmosphère autour de la Lune a un effet important sur la température de son sol. La Terre et la Lune, étant à la même distance du Soleil, reçoivent de celui-ci la même quantité de chaleur par unité de surface. Mais l'échauffement du sol est très différent dans les deux cas. L'air qui enveloppe la Terre joue pour elle le rôle d'un écran protecteur, qui réduit beaucoup les variations de la température. La vapeur d'eau contenue dans notre atmosphère a, dans cet équilibre thermique, une action particulièrement importante, car l'absorption qu'elle exerce sur les rayons infrarouges s'oppose à une déperdition de la chaleur. Les conditions ne sont plus du tout les mêmes sur la Lune. On calcule que la température du sol lunaire doit dépasser 100° C pour les régions exposées au Soleil. En effet, en mesurant le rayonnement de notre satellite, on a trouvé une température de + 135° C pour la région qui a le Soleil au zénith. Mais il suffit que, pendant une éclipse, la Lune ne soit plus éclairée par le Soleil pendant à peine quelques heures pour que sa température superficielle tombe à - 117° C.

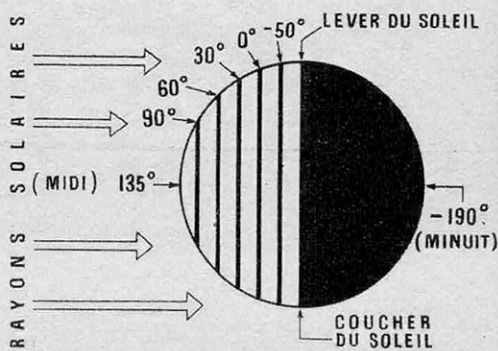


DANS LE SUD DE LA LUNE, LE MUR DROIT



NOTRE SATELLITE, LA LUNE

Son relief fut connu très tôt (Galilée, 1610) et la dénomination de la plupart des détails de sa surface date du XVII^e s. Mais ce n'est qu'à notre époque qu'on a fait des mesures précises de la température; ci-dessous, celles de Pettit et Nicholson.





LA LUNE PRESQUE PLEINE. EN HAUT, LE CRATÈRE DE TYCHO; SUR LA DROITE, CELUI DE COPERNIC.

La différence de température entre l'hémisphère éclairé et celui qui est dans l'ombre est donc beaucoup plus forte que sur notre globe. La grande durée (14 jours terrestres environ) des jours et des nuits sur la Lune contribue à accentuer cet écart. Une autre propriété agit d'ailleurs dans le même sens : nous voulons parler de la nature pulvérulente du sol lunaire, qui est indiquée par plusieurs observations, notamment par des mesures polarimétriques. En effet, les roches poussiéreuses conduisent très mal la chaleur et s'opposent à sa pénétration dans le sol.

En résumé, notre satellite est un astre mort, sans air et sans eau; la température à sa surface y est très peu favorable à la vie humaine. On n'y trouve certainement pas trace de végétation.

Il faut dire cependant que des astronomes amateurs ont cru relever des variations de colo-

ration de certaines plages; et certains ont tenté de les attribuer à de la végétation. Non seulement cette attribution paraît tout à fait fantaisiste, mais la grande majorité des astronomes ne croit pas à la réalité des prétendues variations de coloration, qui sont juste à la limite de perception et au sujet desquelles notre impression peut se trouver faussée par différents facteurs, par exemple par une différence d'éclairément ou par une variation de la transparence de notre atmosphère.

Le spectacle que contempleront les explorateurs interplanétaires, s'ils parviennent à se poser à la surface de la Lune, sera donc très différent de celui de la Terre : un ciel noir constellé d'étoiles, de jour et de nuit; pendant le jour, une température élevée et une lumière implacable sur un sol poussiéreux, une absence complète de vie.



VU DE MERCURE, LE SOLEIL APPARAÎT COMME UN DISQUE ÉCLATANT D'UN DIAMÈTRE ÉNORME.

Dessin de L. Rudaux.

Extrait de "SUR LES AUTRES MONDES" - Larousse, éditeur.

LES MÉTHODES PHYSIQUES D'ÉTUDE DES PLANÈTES

Avant d'indiquer ce que l'on sait actuellement des conditions physiques régnant sur les diverses planètes, nous allons rappeler les méthodes qui ont permis de les étudier.

Nous ne dirons que quelques mots des observations photographiques. On leur a, très souvent, préféré les observations visuelles, en particulier parce que les détails les plus fins se trouvent effacés par l'effet du grain des plaques. L'emploi de plus en plus fréquent des plaques à grains fins ne donnant pas un gain suffisant, Lyot, Camichel et Gentili ont imaginé la méthode dite des « photographies composites », qui leur a permis d'obtenir, à l'observatoire du Pic-du-Midi, les plus belles photographies de planètes — et aussi les plus détaillées — qui aient été réalisées jusqu'ici. Le principe consiste à prendre plusieurs images d'une planète dans un temps assez court pour que la rotation ne produise pas de changement notable, puis à faire un agrandissement unique en projetant successivement ces images exactement à la même place.

On détermine les températures superficielles des planètes soit par voie théorique, soit par des mesures directes. Disons tout de suite que l'accord des deux méthodes est excellent. La première consiste à employer les lois de la thermodynamique et à exprimer l'équilibre entre l'énergie solaire absorbée et l'énergie

perdue par rayonnement. La détermination physique est d'une sensibilité vraiment merveilleuse, puisqu'elle permet non seulement de mesurer les températures des planètes, mais même d'étudier, pour plusieurs d'entre elles, les variations de la température selon les régions visées de leur surface. On utilise des **couples thermo-électriques** très sensibles. Un tel couple est formé essentiellement de deux fils très fins, de métaux différents convenablement choisis, soudés l'un à l'autre. Cette soudure fait partie d'un circuit électrique comprenant un appareil capable de mesurer de très faibles intensités (galvanomètre). La soudure émet un courant dès qu'elle est portée à une température différente de celle du circuit. En pratique, la soudure qui se trouve dans une ampoule où l'on a fait le vide, est recouverte d'un disque d'étain noir absorbant le rayonnement qui l'atteint. Ce disque, aussi petit qu'une tête d'épingle, est placé au foyer d'un grand télescope et reçoit seulement la chaleur qui lui vient de l'astre dont l'image se forme sur la soudure. On a réussi à construire des couples thermoélectriques tellement sensibles qu'on a pu les employer pour évaluer la température d'étoiles cent fois moins brillantes que les plus faibles visibles à l'œil nu. Dans l'étude des planètes, il se présente une complication : le rayonnement que nous recevons est la somme du rayonnement solaire réfléchi et du rayonnement propre de la planète étudiée. A cause de la faible température de l'astre, ce dernier ne comprend pratique-

ment que des radiations infrarouges. On l'évalue par différence, en interposant sur le trajet des rayons une cuve qui absorbe les rayons infrarouges et laisse passer les rayons d'origine solaire.

La spectroscopie a permis de déterminer — d'une manière encore incomplète, mais déjà fort intéressante — la composition des atmosphères des planètes. La lumière qui nous vient de ces objets est de la lumière solaire réfléchie, mais elle a traversé deux fois l'atmosphère de la planète, complètement si elle est réfléchie par le sol, partiellement si elle est réfléchie dans l'atmosphère elle-même. Cette traversée peut produire des raies ou bandes d'absorption, analogues aux raies ou bandes telluriques, dues à l'absorption par l'atmosphère terrestre de certaines radiations solaires ou stellaires. La méthode d'analyse est d'ailleurs assez différente selon qu'il s'agit de reconnaître la présence de gaz existant dans notre propre atmosphère ou de gaz différents. Ce dernier cas est le plus simple, car on observe des bandes qui se distinguent nettement des bandes telluriques. Le problème est plus délicat lorsque les gaz, que l'on cherche à déceler, sont précisément les constituants de notre atmosphère. On a abandonné la méthode ancienne, qui consistait à chercher simplement un renforcement des bandes telluriques, car on a constaté qu'elle n'est pas assez précise. La plupart des mesures modernes mettent à profit un effet bien connu des astronomes, l'**effet Doppler** : puisque la planète se déplace par rapport à la Terre, les raies d'absorption dues à son atmosphère subissent un petit décalage vers le rouge ou vers le bleu, par rapport aux raies telluriques, selon que la planète s'éloigne de nous ou se rapproche. Les mesures sont difficiles, car le décalage n'atteint qu'un dix-millième de la longueur d'onde, au maximum. Pour qu'il soit sensible, il faut disposer d'un appareil à grande dispersion, qui exige lui-même beaucoup de lumière et, par suite, un télescope de grande ouverture.

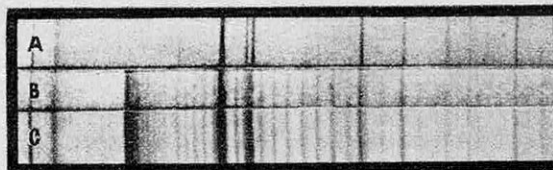
Parmi les méthodes appliquées par les astronomes à l'étude des planètes, nous signalons aussi les mesures polarimétriques, qui évaluent le degré de polarisation de la lumière diffusée par les planètes. Ce degré est intéressant à connaître, car il varie avec la nature de la surface diffusante.

Nous allons passer rapidement en revue les diverses planètes, dans l'ordre des distances croissantes à partir du Soleil, et indiquer pour chacune les résultats des observations.

MERCURE

Cette planète de petites dimensions, la plus proche du Soleil, tourne autour de ce dernier en dirigeant vers lui toujours la même face comme la Lune vis-à-vis de la Terre.

Une des phases de Vénus lorsqu'elle se trouve entre la Terre et le Soleil. L'extension du croissant sous forme d'un disque lumineux tout autour de la planète prouve qu'elle est enveloppée d'une atmosphère gazeuse dense.



● La spectre de Vénus dans l'infrarouge (B et C) comparé à celui du Soleil (A). On distingue dans le spectre de la planète les bandes d'absorption qui mettent en évidence la présence de gaz carbonique dans son atmosphère.

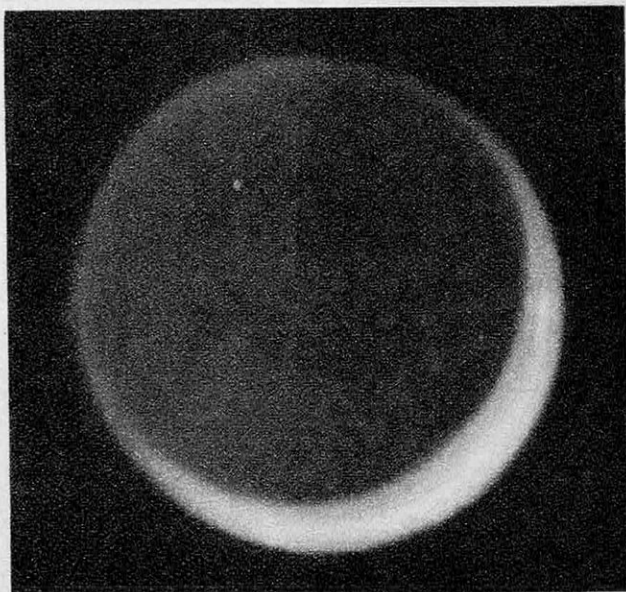
A cause de la proximité du Soleil, la face constamment tournée vers lui se trouve chauffée à une température élevée, voisine de 350°C . Au contraire, l'hémisphère constamment dans l'ombre est extrêmement froid; les appareils de mesure ne donnent aucune déviation. On pense que la température y est proche du zéro absolu (-273°C).

La gravité étant trop faible, Mercure n'a pas d'atmosphère ou, du moins, s'il en reste des traces, les observations montrent que sa densité est mille fois plus petite que celle de notre atmosphère.

Par ce caractère, Mercure ressemble à la Lune. Il y a d'autres points de ressemblance. Ainsi les sols des deux astres doivent avoir une nature analogue, car ils réfléchissent la lumière solaire sensiblement de la même manière. On distingue sur Mercure des taches sombres, comparables aux « mers » lunaires. Par contre, on n'y a aperçu jusqu'ici aucune trace de relief.

VÉNUS

Puisque cette belle planète a des dimensions et une masse comparables à celles de la Terre, on avait imaginé autrefois qu'elle était celle qui ressemblait le plus à notre globe. Or, bien que l'on connaisse encore assez mal les conditions



physiques régnant à sa surface, il est absolument certain qu'elles sont profondément différentes de celles dans lesquelles nous vivons.

Une des difficultés rencontrées dans l'étude de cette planète est la présence du voile blanc, opaque, de « nuages », qui l'entoure complètement et constamment. On ne voit pas le sol. On aperçoit parfois des plages plus claires ou plus sombres, à contours imprécis, mais leur nature est inconnue.

Faute de distinguer des détails à sa surface, il n'a pas été possible d'évaluer directement la durée de rotation de la planète. On a tenté de déterminer cette durée par une méthode spectroscopique, mais les mesures sont très incertaines. Quelques astronomes pensent que Vénus présenterait toujours la même face au Soleil, comme c'est le cas pour Mercure. Le plus souvent, on admet que sa période de rotation est d'une trentaine de jours, mais cette valeur est fort douteuse et n'est guère qu'un compromis entre des résultats disparates.

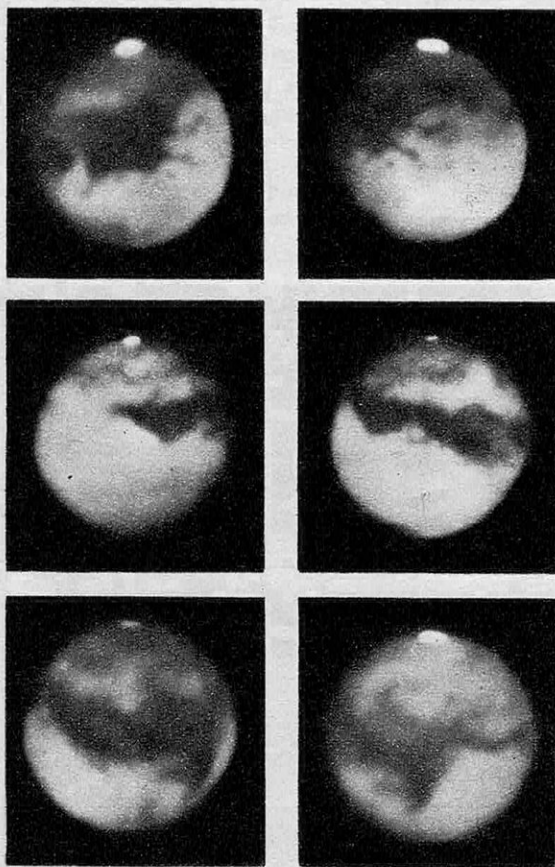
La spectroscopie a mis en évidence la présence de gaz carbonique, en quantités considérables, dans l'atmosphère de Vénus. Il y a aussi, rappelons-le, du gaz carbonique dans notre atmosphère, mais seulement en très faible proportion (3/10 000 en volumes). Une proportion élevée rendrait l'air suffoquant pour un animal ou un homme. Or la quantité qui se trouve dans l'atmosphère de Vénus est importante, puisque l'on a reconnu que son épaiss-

seur est équivalente, en moyenne, à un kilomètre, sous la pression normale. Il faut bien noter que cette estimation concerne seulement la partie de l'atmosphère située au-dessus des nuages. Des observations récentes ont montré que cette épaisseur peut varier considérablement d'un jour à l'autre ou d'un point du disque à un autre, preuve, pense-t-on, que la couche nuageuse diffusant la lumière a une altitude et une opacité variables. Puisque le gaz carbonique est lourd, il doit d'ailleurs être aussi très abondant près du sol.

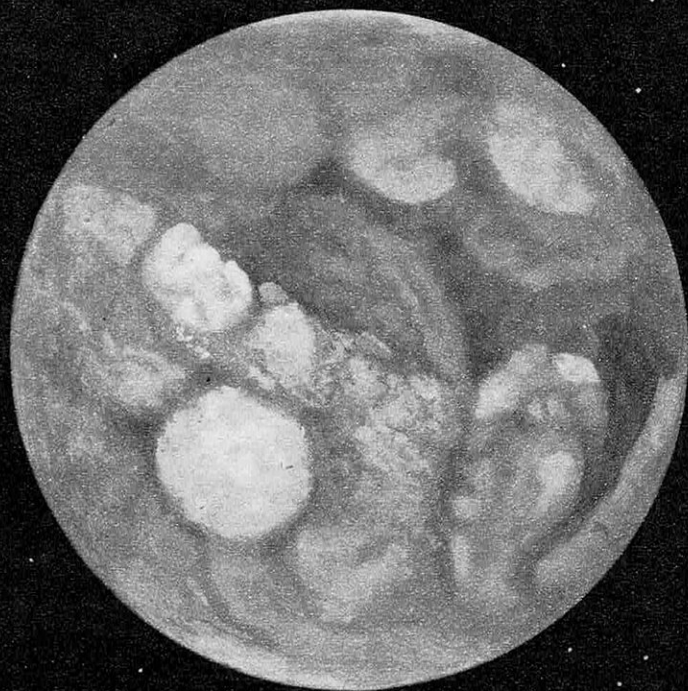
Le gaz carbonique absorbe fortement les rayons infrarouges. On prévoit que sa présence, en abondantes quantités dans l'atmosphère de Vénus, doit produire un véritable « effet de serre », c'est-à-dire que, comme les vitres dans une serre, ce gaz laisse pénétrer le rayonnement solaire, mais empêche les rayons infrarouges de sortir. Des mesures de la température ont donné une valeur de -30°C environ pour la portion plongée dans la nuit; elles ont montré aussi ce résultat surprenant qu'il n'y a pas grande différence entre l'hémisphère sombre et celui qui est éclairé. Mais il faut remarquer, tout d'abord, que les mesures en question concernent la couche supérieure du voile blanc opaque, c'est-à-dire une région élevée de l'atmosphère. La différence peu importante entre les températures du jour et de la nuit est un argument contre ceux qui pensent que Vénus dirigerait toujours le même hémisphère vers le Soleil; mais une circulation atmosphérique intense suffirait peut-être pour expliquer ces observations. En tous cas, les mesures ne renseignent pas du tout sur la température au voisinage du sol. On estime que l'« effet de serre », dont nous venons de parler, doit élever cette température jusqu'à 100°C ou même plus, pour les régions ayant le Soleil au zénith.

Les spectroscopistes n'ont réussi à déceler ni oxygène, ni vapeur d'eau dans l'atmosphère de Vénus. Ils estiment que, si ces corps existent, leur proportion n'atteint pas 5 % (et probablement 2 %) de la quantité présente, à surface égale, sur la Terre. Comme pour le gaz carbonique, les mesures concernent seulement la région de l'atmosphère située au-dessus du voile opaque de nuages. Même pour cette seule région, l'absence constatée est fort surprenante. L'eau, en particulier, se vaporiserait, s'il en existait, sous l'effet de la haute température régnant près du sol. D'autre part, des considérations physico-chimiques font penser volontiers que sa formation, dans Vénus, pourrait être abondante.

Puisqu'il n'y a pas de vapeur d'eau, quelle est la nature des prétendus « nuages » blancs? On les a étudiés par la spectroscopie, mais les renseignements que l'on obtient ainsi sont, il faut le remarquer, peu précis lorsqu'il s'agit



◀ La rotation de Mars (que l'on peut suivre sur le cliché de gauche à droite et de haut en bas) se fait en 24 h 37 mn. L'axe de rotation n'étant pas disposé perpendiculairement au plan de l'orbite, il y a des saisons sur la planète.



LA PLANÈTE MARS TELLE QU'ON LA VERRAIT EN SE PLAÇANT SUR SON SATELLITE PHOBOS.

Dessin de L. Rudaux.

Extrait de " SUR LES AUTRES MONDES " - Larousse, éditeur.

simplement d'une diffusion, comme c'est le cas ici, et non plus de la traversée d'une couche plus ou moins importante de gaz. Les observations ont pourtant confirmé que les « nuages » ne sont pas formés de vapeur d'eau; elles ont permis de rejeter aussi plusieurs hypothèses, qui avaient été proposées. L'idée, qui rencontre actuellement le plus de faveur, est que les « nuages » seraient constitués par de très fines poussières, ayant à peine un diamètre de quelques microns, en suspension dans les hautes couches de l'atmosphère.

La présence de végétaux sur Vénus est peu probable; en tout cas, ils y sont rares, puisque la décomposition du gaz carbonique, avec libération d'oxygène, n'est pas encore sensible.

MARS

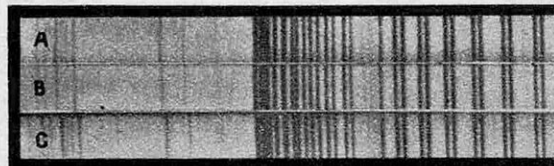
Le diamètre de Mars dépasse un peu la moitié de celui de la Terre. Sa masse est sensiblement dix fois plus petite. L'intensité de la pesanteur à sa surface y est presque trois fois plus faible. A cause de cette faible gravité, Mars ne possède qu'une atmosphère raréfiée. La pression atmosphérique au sol, difficile à apprécier, semble être 10 fois plus faible que la nôtre; en d'autres termes, elle est sensiblement celle qui existe dans notre atmosphère vers une altitude de 18 ou 20 kilomètres.

Comme l'atmosphère est transparente, l'observation du sol de Mars est aisée. Les conditions d'étude sont donc beaucoup plus favorables que dans le cas de Vénus, d'autant plus qu'au

moment où la planète est le plus proche de nous, tout son disque est éclairé, tandis que Vénus nous montre alors la phase qui correspond à la nouvelle Lune. Mais la distance qui nous sépare de Mars est, à sa valeur minimum, environ 150 fois plus grande que la distance de la Lune. C'est une considération qu'il ne faut pas oublier et qui fait comprendre l'impossibilité de distinguer sur Mars des détails trop fins. En fait, les détails essentiels que l'on aperçoit sont, outre les calottes polaires, des plages colorées, sombres ou claires : plus de la moitié de la surface est rouge orangé, mais certaines taches sombres montrent une coloration bleu-vert.

La période de rotation de la planète a été déduite d'après les observations des détails de sa surface. Elle est de 24 heures 37 minutes, donc très voisine de celle de la Terre.

Il y a des saisons sur Mars, comme sur la Terre, car l'axe de rotation de la planète n'est pas perpendiculaire au plan de l'orbite. L'incli-



● Spectre de Mars comparé à celui du Soleil (B). Les raies d'absorption de l'oxygène ne sont pas décalées selon que Mars s'approche (A) ou s'éloigne (C) de la Terre : elles proviennent donc de l'atmosphère terrestre.



CE CROISSANT GÉANT EST JUPITER A L'UNE DE SES PHASES, VU D'UN DE SES SATELLITES.

Dessin de L. Rudaux.

Extrait de " SUR LES AUTRES MONDES " - Larousse, éditeur

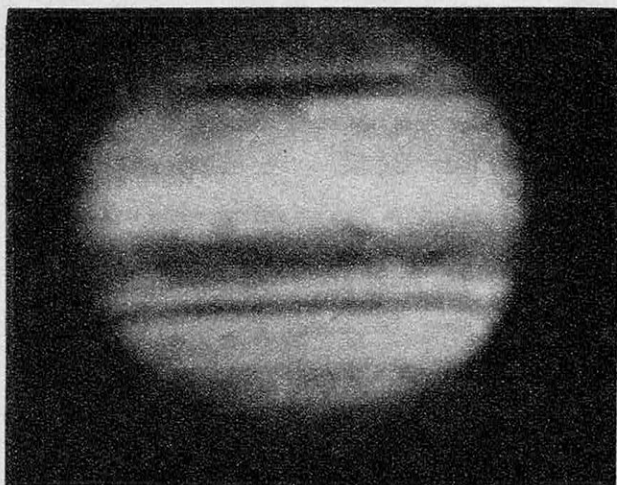
raison est sensiblement la même que pour la Terre. Mais les saisons sont presque deux fois plus longues. D'autre part, la différence des saisons entre les deux hémisphères est plus prononcée, à cause de l'excentricité de l'orbite. En effet, tandis que la distance de la Terre au Soleil ne varie que de 3 %, la variation atteint 20 % dans le cas de Mars. Le principal signe visible de l'évolution des saisons est le développement plus ou moins grand des calottes polaires. A cause de la différence, que nous venons d'indiquer, la calotte sud subit de plus grands changements que l'autre; elle s'étend le plus en hiver et disparaît souvent tout à fait en été, tandis que celle du nord subsiste toujours.

La distance moyenne de Mars au Soleil dépasse d'un peu plus de 50 % celle qui sépare la Terre du Soleil. L'énergie reçue par unité de surface, inversement proportionnelle au carré de la distance, est à peine la moitié de celle tombant sur la Terre. On prévoit aisément que la température moyenne de Mars

doit être nettement inférieure au point de fusion de la glace. Les mesures montrent que la température la plus élevée, à l'équateur à midi, est de + 10° C. Mais un froid rigoureux de — 85° C sévit à la fin de la nuit.

Comme dans le cas de Vénus, les spectroscopistes n'ont trouvé ni oxygène, ni vapeur d'eau dans l'atmosphère de Mars. Les observations leur ont donné comme limite supérieure de la proportion de ces gaz 0,2 % de la quantité présente sur la Terre, à surface égale. On ignore encore actuellement quels sont les constituants principaux de l'atmosphère de Mars. On pense qu'il y a surtout de l'azote, mais la présence de ce gaz n'a pas été reconnue par la spectroscopie. Pour le moment, le seul gaz que l'on ait identifié est le gaz carbonique, non pas en abondantes quantités comme sur Vénus mais à l'état de traces comme dans notre atmosphère.

Une question vient naturellement à l'esprit : comment concilier les résultats précédents avec l'observation des calottes polaires? Bien que l'on en ait douté un moment, il semble établi que ces calottes sont formées de glace, car on a observé dans la lumière qu'elles réfléchissent une bande d'absorption infrarouge caractéristique de l'eau condensée. Mais un simple dépôt de givre sur le sol suffit pour donner l'aspect observé. Précisément, le degré de polarisation de la lumière venant des calottes de Mars est le même que celui produit par un dépôt de givre obtenu artificiellement au laboratoire, sous une pression réduite à la valeur qu'elle a sur Mars. La présence d'eau semble aussi démontrée par l'apparition, de temps à autre, de nuages blancs qui auraient la même nature que les nôtres. En



◆ Jupiter est la plus grosse des planètes du système solaire. Son volume et sa masse sont plus grands que ceux des autres planètes réunies. On la prit longtemps pour une étoile. Elle est, six mois par an, après l'étoile Sirius et la planète Vénus, le point le plus brillant du ciel.

raison de la température rigoureuse, il est néanmoins fort possible que la quantité de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère reste si petite qu'elle ne soit pas décelable par la spectroscopie. Certains auteurs estiment pourtant que la limite supérieure de 0,2 %, indiquée plus haut, serait un peu trop faible.

Il est, en tout cas, certain que si un homme ou un animal terrestre était brusquement transporté sur la planète, il succomberait rapidement par manque d'oxygène ou simplement à cause de la trop faible valeur de la pression. Parmi les changements nombreux par rapport aux conditions dans lesquelles nous avons l'habitude de vivre, il faut noter aussi la pénétration jusqu'au sol des rayons ultraviolets de courtes longueurs d'onde ayant une véritable action stérilisante; on sait que nous sommes protégés contre l'action de ces rayons par une très petite quantité de gaz ozone, qui se trouve dans notre atmosphère entre 20 et 40 kilomètres d'altitude et qui produit l'effet d'un écran absolument opaque pour ces rayons.

Le problème de la vie sur Mars a été maintes fois discuté. Nous ne reviendrons pas, à ce propos, sur la question des fameux « canaux ». Sur les photographies obtenues au Pic-du-Midi, on distingue, semble-t-il, quelques objets ayant des analogies avec ceux que l'on avait désignés

sous ce nom, mais ils ont des aspects variés, souvent bien différents des formes géométriques que les observateurs ont tendance à dessiner. Mais, même s'il existe des « canaux », nous ne savons pas quelle est leur nature et nous ne pouvons pas en tenir compte pour affirmer ou pour nier la présence d'êtres vivants. Sur ce sujet, deux attitudes sont possibles : ou bien laisser libre l'imagination de chacun, ou bien accepter certaines bases pour une discussion. Parmi ces bases, il semble inévitable d'admettre que les lois de la biologie sont les mêmes dans tout l'univers, comme le sont les lois de la matière inerte. Dans ces conditions, la présence d'animaux sur Mars semble impossible. Même pour des végétaux, les conditions physiques y sont défavorables. L'eau que contiennent les plantes vasculaires se solidifierait pendant la nuit. On admet généralement que seuls des lichens ou des plantes analogues seraient capables de résister au froid et à la sécheresse qui sévissent sur Mars. C'est peut-être au développement plus ou moins grand d'une végétation de ce type que sont dues les taches vertes, dont la coloration et l'étendue paraissent varier avec les saisons. Mais d'autres explications sont possibles; ces plages pourraient, par exemple, être des régions riches en minéraux, dont la couleur se modifierait suivant le degré d'hydratation.



UNE PHASE DE SATURNE TELLE QU'ON LA VERRAIT D'UN DE SES SATELLITES.



Extrait de "SUR LES AUTRES MONDES" Larousse, éditeur.

LES PLANÈTES GÉANTES (JUPITER SATURNE, URANUS ET NEPTUNE)

Ces quatre planètes se ressemblent non seulement par leurs dimensions beaucoup plus grandes que celles des autres planètes (la plus grosse, Jupiter, a un diamètre qui vaut 11 fois celui de la Terre; pour la plus petite, le rapport est encore de 4); elles présentent entre elles d'autres analogies, par exemple leur faible densité moyenne (1,34 par rapport à l'eau dans le cas de Jupiter, 0,71 pour Saturne). Les conditions physiques que l'on trouve à leurs surfaces sont, elles aussi, semblables; elles varient progressivement en même temps que la distance au Soleil. Elles sont caractérisées, en premier lieu, par une valeur très basse de la température moyenne : — 135° C pour Jupiter, voisine de — 200° C pour Neptune. Dans des conditions telles, nombre de gaz se trouvent liquéfiés, ou même solidifiés.

D'autre part, les spectres de ces planètes montrent que leurs atmosphères contiennent en grandes quantités du méthane (CH_4) et du gaz ammoniac (NH_3); elles sont donc pestilentielles. Il est d'ailleurs probable que ces deux gaz ne sont pas les seuls constituants de ces atmosphères; on pense qu'elles contiennent aussi, en forte proportion, de l'hydrogène; mais la présence de ce dernier gaz n'a pas été encore confirmée avec certitude par les spectroscopistes. L'intensité des bandes d'absorption du méthane et de l'ammoniac a permis de doser l'épaisseur équivalente de gaz traversée par les rayons avant leur réflexion. On trouve,

◆ Un observateur qui se trouverait dans les régions équatoriales de Saturne pourrait, dans des circonstances favorables, voir ce curieux spectacle : une éclipse de soleil provoquée par l'anneau qui entoure la planète.

pour Jupiter, 150 mètres de méthane, sous la pression normale, et 7 mètres d'ammoniac. Pour les autres planètes, la quantité de méthane semble augmenter en même temps que la distance au Soleil, et celle d'ammoniac diminuer. Ces résultats s'expliquent aisément. Les circonstances rappellent celles que nous avons trouvées pour Vénus : nous ne voyons pas le sol de Jupiter, mais les nuages abondants de son atmosphère. Ces nuages sont formés de gouttelettes d'ammoniac, ou même de cristaux, flottant dans une atmosphère riche en méthane.

La rotation de Jupiter est rapide, puisque, malgré son énorme diamètre, la planète tourne sur elle-même en moins de 10 heures. Les observations montrent d'ailleurs que la région équatoriale tourne plus vite que le reste. Ce fait confirme bien que la surface visible n'est pas le sol. La rapide rotation produit une circulation atmosphérique très intense, qui se traduit par des bandes parallèles à l'équateur.

Des considérations théoriques conduisent à penser qu'il doit exister de l'eau, en quantités notables, dans les planètes géantes. En raison de la température très basse, cette eau ne peut se trouver qu'à l'état solide. Nous avons déjà dit plus haut qu'une bande d'absorption infra-rouge est observée lorsque la lumière est diffusée par de la glace. On a précisément trouvé cette bande caractéristique non pas dans les spectres des planètes géantes, mais dans celui des anneaux de Saturne. Ces anneaux sont, on le sait, constitués par une multitude de petits corpuscules gravitant séparément autour de la planète. Ces corpuscules seraient donc recouverts de glace ou, peut-être, simplement formés de blocs de glace.

A cause de leurs températures très basses et de leurs atmosphères pestilentielles, les planètes géantes ne renferment certainement aucune forme de vie.

On ne sait rien des conditions physiques existant sur Pluton, la planète la plus lointaine du système solaire. On peut affirmer seulement que la température y est encore inférieure à celle de Neptune.

Malgré les affirmations fantaisistes que l'on rencontre encore dans certains livres, revues ou journaux, la présence d'êtres vivants sur la Lune ou les autres planètes du système solaire est sinon impossible, du moins tout à fait improbable, à l'exception peut-être de quelques végétaux particuliers. Un séjour sur ces astres d'hommes ou d'animaux venant de la Terre ne peut être envisagé que si l'on sait organiser pour eux des conditions spéciales de vie, notamment en ce qui concerne la valeur de la pression atmosphérique, la présence d'oxygène et l'existence d'une température modérée.

J. Gauzit

Astronome à l'Observatoire de Lyon.

SCIENCE ET VIE

Pourquoi
LOUBENS
s'est tué

La question
du jour

Toute l'actualité
scientifique

Inventions
pratiques...

← Une moto amphibie

Après les avions amphibies qui ont permis de franchir les océans, on a imaginé une moto amphibie. Elle est capable de rouler sur terre et de naviguer sur l'eau. Elle est équipée d'un moteur à deux temps et d'un hélice. Elle est très maniable et peut franchir les plus fortes vagues. Elle est idéale pour les pêcheurs et les touristes.



En matière de sécurité
feu et feu

Après les accidents de circulation qui se produisent chaque jour, on a imaginé un feu à sécurité. Il est équipé d'un système de sécurité qui empêche le feu de s'éteindre. Il est idéal pour les incendies et les accidents de circulation.

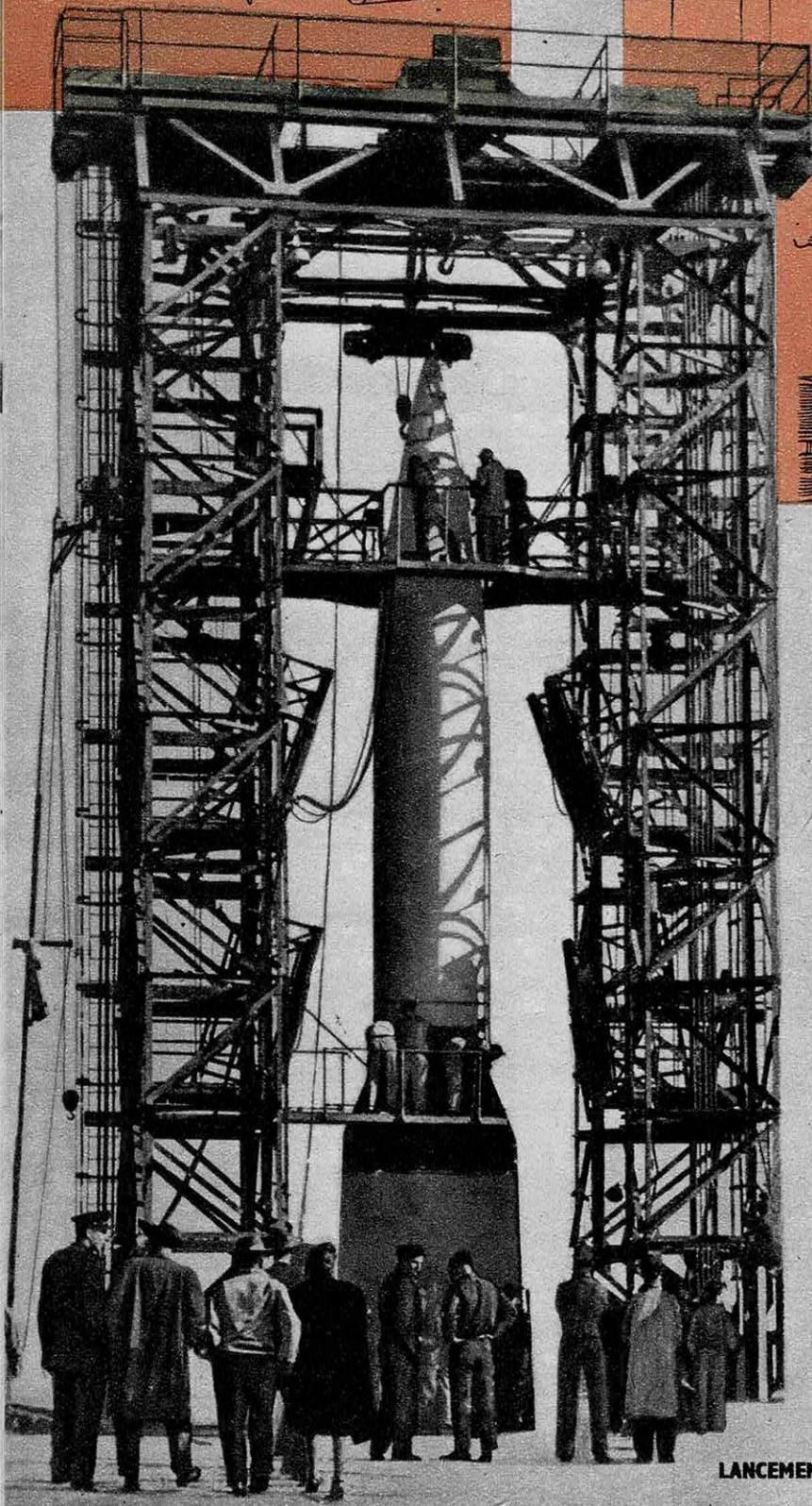
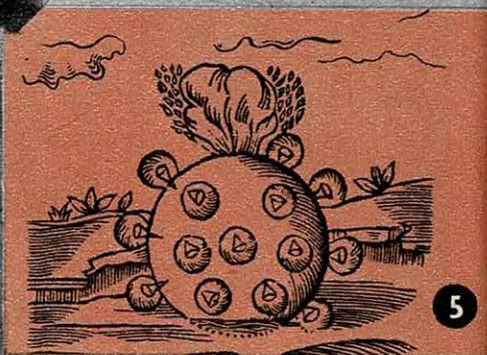
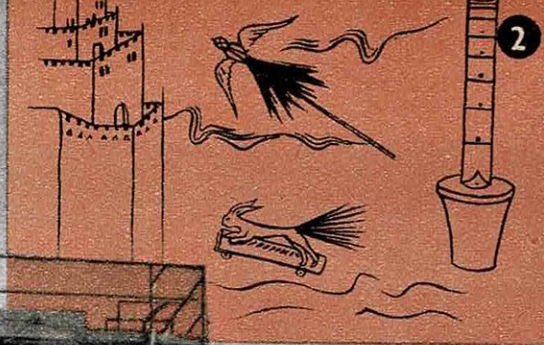
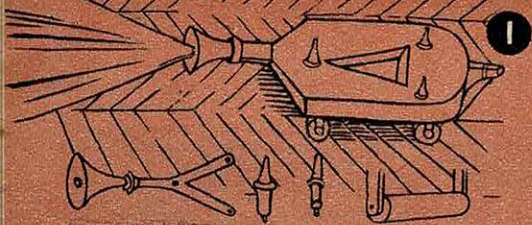
La sécurité du
voiture en automobile

Après les accidents de circulation qui se produisent chaque jour, on a imaginé une voiture à sécurité. Elle est équipée d'un système de sécurité qui empêche la voiture de s'écraser. Elle est idéale pour les accidents de circulation et les incendies.



Les découvertes
récentes

chaque mois
dans
SCIENCE ET VIE



MILLE ANS

Du feu grégeois

1 et 2 Carnets de J. de Fontana (1420) : véhicule propulsé par fusée (à gauche) et 2 fusées de guerre (à droite).

3 Extrait des « Récréations Mathématiques » (1669), cette gravure représente un artificier du XVII^e siècle.

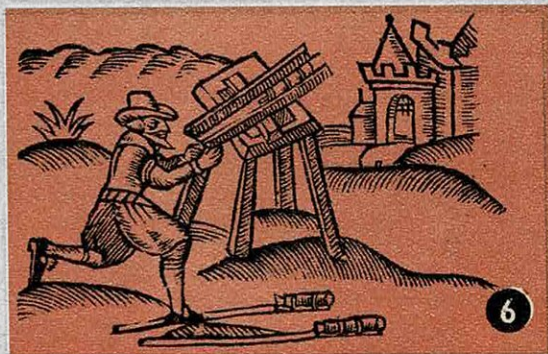
4 Des fusées portées par des cordes étaient utilisées pour transporter des objets d'une maison à l'autre.

5 Ces projectiles de marine émettant des jets de flammes étaient souvent lancés contre les navires.

6 Ce simple dispositif était employé en 1669 pour « tirer droitement une fusée d'un lieu à un autre ».

7 Bataille simulée au cours d'une fête sur l'eau. Des maisons flottantes s'incendent à coups de fusées.

LANCEMENT D'UNE V-2 A WHITE SANDS



S D'HISTOIRE DE LA FUSÉE

à la fusée moderne ionosphérique

IL est impossible, en dépit de la profusion des documents historiques, de préciser l'époque à laquelle la « fusée volante » fit son apparition. Sans doute la découverte de la matière fusante se fit-elle par étapes et fut-elle, comme beaucoup d'autres inventions, le fruit d'une série de hasards heureux.

Dès le premier siècle de notre ère, il semble, d'après certains documents, que l'on utilisait, tant en Europe que dans le Proche-Orient, de nombreux engins dits « feux grégeois » pour enflammer les flèches tirées contre les travaux avancés de l'ennemi, les fortifications mobiles de siège, les maisons ou les navires. Ces mélanges incendiaires renfermaient du goudron, de la poix, de la térébenthine, du soufre, de la braise, parfois même du naphte et de l'encens ; les Grecs y ajoutaient du sel marin, qui donnait une flamme plus éclatante, augmentant l'effet moral produit sur l'adversaire, sans améliorer l'efficacité des engins.

Le progrès capital semble avoir été l'œuvre des Chinois qui, ayant entendu parler de ces engins, voulurent les imiter. On peut penser que dans la Chine intérieure, fort éloignée de la mer et commerçant difficilement avec les pays lointains, le sel marin était un produit rare

et couteux et que les artificiers chinois pensèrent à le remplacer par une substance plus commune, le salpêtre, dont l'aspect et la saveur rappelaient d'ailleurs ceux du sel. Ainsi auraient-ils été amenés à introduire dans le mélange traditionnel un corps capable de fournir l'oxygène pour la combustion des autres ingrédients ; ce fut, semble-t-il, le premier mélange pyrotechnique.

Ce ne sont évidemment là que des hypothèses, mais tout le monde s'accorde aujourd'hui à attribuer le mérite de l'invention de la poudre à canon et des fusées aux Orientaux. C'est eux, en tout cas, qui furent les premiers à utiliser les fusées sur une grande échelle. Pourtant, en Europe, un auteur peu connu, Marcus Graecus, avait bien décrit en latin, vers 850, le moyen de confectionner « un artifice capable de ramper sur le sol ou de s'élever en l'air ».

Dès 970, en Chine, l'empereur Tai-Tsou, fondateur de la dynastie des Song, aurait imaginé de fixer près de la pointe des flèches, pour en augmenter la portée, un tube de bambou rempli d'une composition à base de salpêtre qu'on enflammait au moment du lance-

ment. Mais la première date historique incontestable d'apparition de fusées dignes de ce nom comme armes de guerre est 1232. Lors de la campagne entreprise par les Mongols contre la province du Hou-Nan, Ogodai, fils de Gengis Khan, constata que l'adversaire faisait usage d'une arme nommée « Huo-Chien », ou « flèche de flammes volantes », qui possédait la curieuse propriété, une fois allumée, de voler par ses propres moyens. Tirée par les défenseurs de la ville de K'ai-Fong, elle aurait jeté la plus grande confusion dans la cavalerie mongole.

Il semble que la découverte se soit répandue à travers le monde avec une prodigieuse rapidité. Moins de huit ans après la prise de K'ai-Fong, un Arabe du nom de Abu Mohammed Abdallah ben Ahmed Almaliqi décrivait avec force détails les propriétés du salpêtre, produit oxygéné entrant dans la composition de la poudre à canon et permettant la fabrication des fusées. Il l'appelait « neige de Chine ».

Vers 1255, Roger Bacon, en Angleterre, apporte de notables perfectionnements à la composition de la poudre, qui jusqu'alors renfermait un excès de charbon et de soufre et dont la combustion était lente. Il conseille de

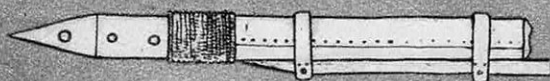
mélanger 41,2 % de salpêtre, 29,4 % de soufre et 29,4 % de charbon, réalisant pour l'époque le mélange idéal.

Vingt-cinq ans plus tard, Hassan Abramamah donne à son tour quelques « recettes » pour la fabrication de la poudre et son application aux flèches chinoises qu'il désigne en arabe sous le nom de « Alsichem Alkhataï ».

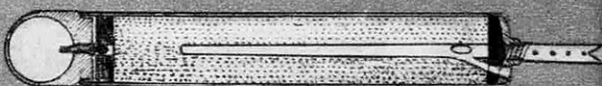
A cette époque, l'artillerie faisait ses débuts. Malgré le poids des canons et les charges importantes qu'on y plaçait, les portées étaient très faibles. Les préférences allaient en général aux fusées qui faisaient plus de bruit et de fumée tout en portant l'incendie à d'assez grandes distances. Leur instabilité sur leur trajectoire était cependant fort gênante et l'artificier qui les allumait n'était jamais sûr qu'un caprice du vent n'allait pas ramener vers lui le projectile qu'il destinait à l'adversaire. La précision du tir était très faible. Ce n'est que beaucoup plus tard qu'on trouva le moyen de l'améliorer sensiblement.

Cependant, au cours du XIV^e siècle, l'usage de la fusée de guerre devient courant. Les Padouans, en 1379, s'en servent contre la ville de Mestre, et la même année, en Italie, au cours d'un conflit intérieur, une tour de

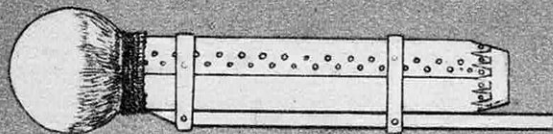
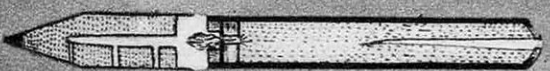
LES FUSÉES AU XIX^e SIÈCLE



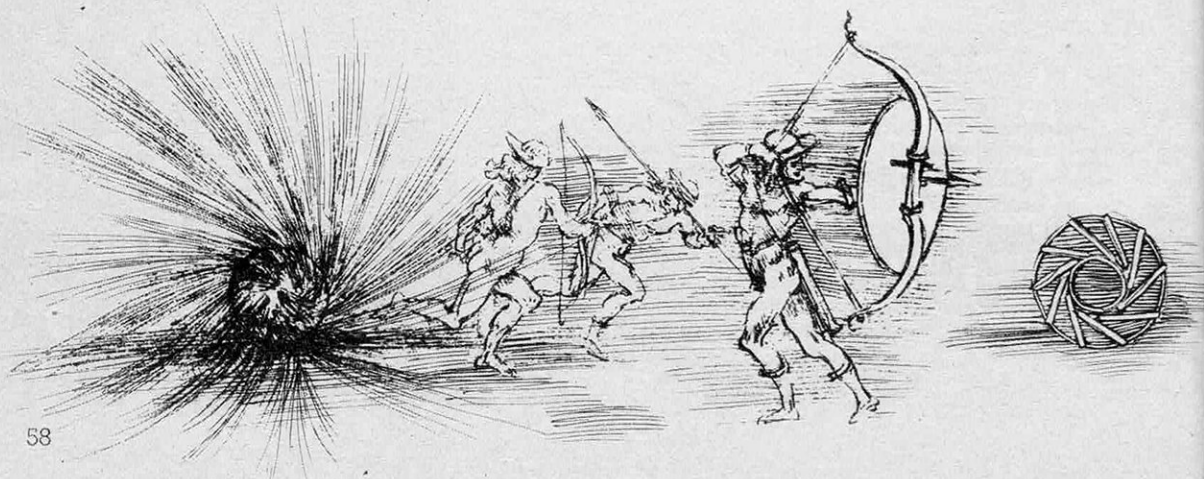
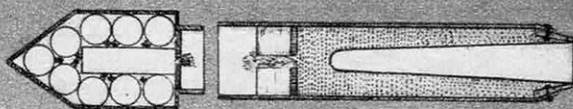
En 1809, les Français prirent à l'île d'Aix cette fusée anglaise.



En 1827, ces fusées furent fabriquées à Metz par Bedford.



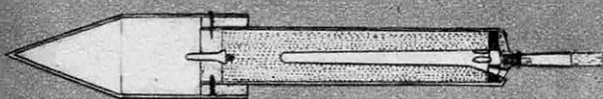
En 1814, le capitaine de Bruslard fit fabriquer à Hambourg des fusées de ce type.



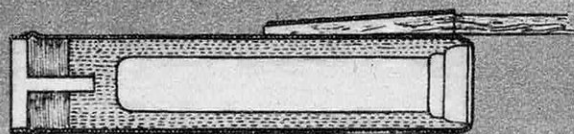


● Le bombardement par fusées le plus mémorable qui ait eu lieu au XIX^e siècle fut celui de la ville de Copenhague, les 4 et 5 avril 1807, par la flotte anglaise.

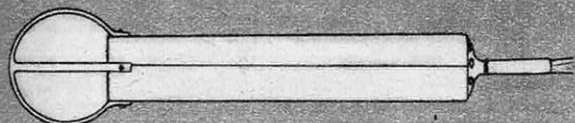
Durant ces deux journées, 40 000 fusées du type Congreve furent déversées sur la ville ; des quartiers entiers furent incendiés et plus de 2 000 personnes tuées.



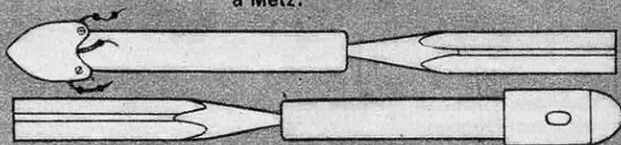
En 1839, une fusée garnie de son chapeau explosif.



En 1854, cette fusée sans armure a été expérimentée à Metz.



En 1840, la Marine utilisa non sans profit cette fusée armée d'une grenade.



Modèles 1862 : la fusée du haut est garnie d'un obus, celle du bas est à charge incendiaire.



En 1849, cette fusée garnie de sa baguette était le modèle réglementaire.



Chiazza est incendiée par un tir massif de fusées.

Dès 1420, Joanes de Fontana, ingénieur italien, distingue quatre catégories principales de fusées : les fusées volantes qui, « telles des colombes, volent dans les airs », les fusées courant sur le sol « comme des lapins », les fusées de marine réservées aux combats navals, enfin les fusées se déplaçant le long des fils.

En France, ce n'est qu'au début du XV^e siècle que l'emploi de la fusée s'étend à la guerre.

← Léonard de Vinci qui plaçait son titre d'ingénieur militaire avant celui de peintre a laissé dans ses carnets un grand nombre de dessins d'armes nouvelles. Cette « roue de feu » propulsée par des jets de poudre enflammée devait provoquer la panique dans les rangs ennemis.

Les comptes des ducs de Bourgogne font état de dépenses assumées, entre 1419 et 1453, pour la fabrication de fusées de guerre.

C'est surtout en tant qu'engins incendiaires, particulièrement efficaces à condition d'être lancés par milliers à la fois, que les fusées se manifestent au cours des batailles. Nous les voyons apparaître successivement au siège d'Orléans en 1428, où elles sont utilisées contre les machines de guerre anglaises qu'elles détruisent, au siège de Chavency en 1436, à la bataille de Pont-Audemer en 1449, à celles de Bordeaux en 1452, de Gand en 1453, enfin de Corbeil en 1465 où un Breton du nom de Maître-Jean, dit Boutefeu, en tire un grand nombre.

DÉCLIN ET RENAISSANCE DE LA FUSÉE

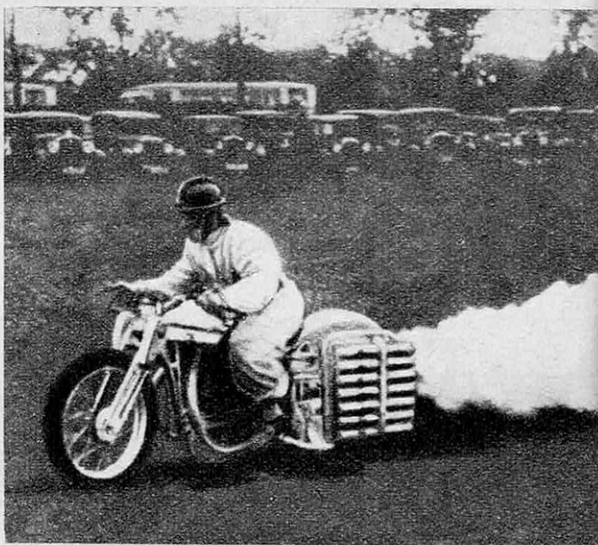
Puis brusquement, la fusée disparaît pour un demi-siècle des champs de bataille européens. La raison semble en être le fait qu'au XV^e siècle on n'était pas en mesure de confectionner des cartouches suffisamment résistantes, ni de comprimer assez fortement la poudre pour que les artifices ainsi obtenus pussent avantageusement lutter contre les nouvelles armes à feu. La fusée redevint ainsi la compagne des fêtes. Dans ce domaine, les progrès furent assez rapides, car rien ne fut épargné pour charmer la vue par des explosions multicolores donnant naissance tantôt à des étoiles, tantôt à un ruissellement ininterrompu de cascades.

Au début du XVII^e siècle, on assiste au retour de la fusée incendiaire qu'emploient les pirates. Et la fusée prend un nouvel essor à partir du moment où l'on songe à l'équiper d'une grenade explosive. Fürtembach (1629), puis l'artificier lorrain Hauzelet (1630), Claës d'Utrecht (1641), Siemenowick (1649), Hulst (1668) apportent à la fusée volante des perfectionnements plus ou moins sensibles.

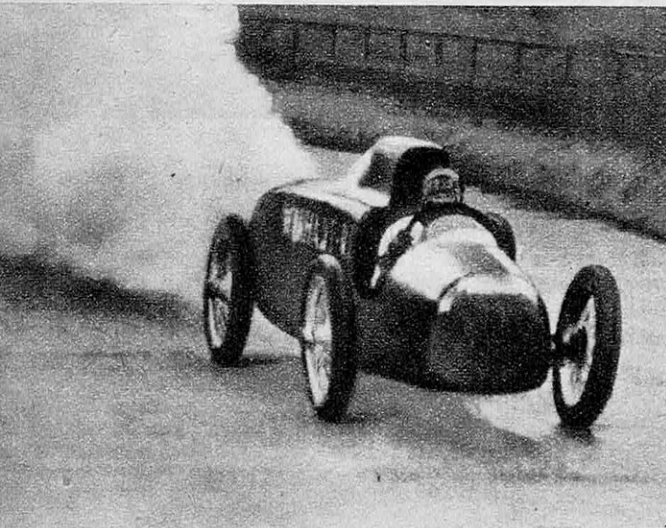
Le XVIII^e siècle s'attachera beaucoup plus à des expériences sur les fusées existantes en vue d'en améliorer le rendement, la portée, la précision, qu'à les mettre en action d'une manière plus ou moins désordonnée au cours d'opérations de guerre. C'est ainsi qu'on songe à doter les fusées d'ailettes stabilisatrices (Frézier, 1707), qu'on procède au lancement vertical à seule fin de déterminer la force ascensionnelle. Une fusée de 81 cm monte à 800 mètres (Robins et Costa, 1749). Enfin Ruggieri et Montjori (1760), Julienne de Belair, le capitaine de Lariboisière et le colonel Prévôt

procèdent de 1789 à 1793 à d'interminables expériences. Ségur, dans ses « Mémoires », rapporte que le colonel Prévôt avait fabriqué en 1798 des « fusées » remplies d'une sorte de feu grégeois liquide et inextinguible. Ces fusées étaient percées de plusieurs trous qu'on bouchait avec de la cire ; on y suspendait plusieurs fils de fer armés de crochets aigus. Lancées dans les agrès d'un vaisseau ennemi, elles s'y attachaient, versant des torrents d'une flamme que rien ne pouvait éteindre.

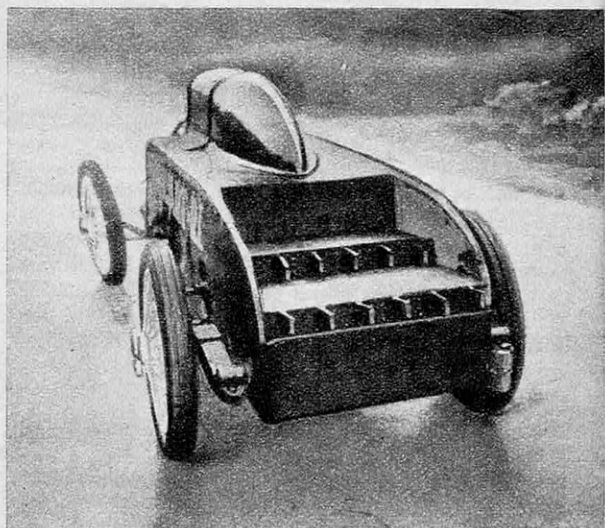
Il faut croire qu'à cette époque, l'Asie était nettement en avance sur nous puisqu'aux



● De 1927 à 1929 un tel engouement se manifesta en Allemagne en faveur de la propulsion par fusée qu'on l'appliqua à peu près à tous les modes de locomotion.



● A cette époque, de nombreux constructeurs d'automobiles s'intéressèrent à la propulsion par fusées. Parmi les premiers figure l'Allemand Kurt C. Volkhart. Dix-huit fusées



chargées de poudre constituèrent l'élément moteur de sa voiture. La poussée de chacune des fusées était de 18 kg. La charge des fusées fut brûlée au bout de 6 km.

Indes, dès 1766, Haïder Ali constituait un corps de lanceurs de fusées de 1 200 hommes qui, en 1782, fut porté par Tippo Saïb à 5 000, alors que la France ne possédait son corps régulier de « fuséens » qu'en 1815.

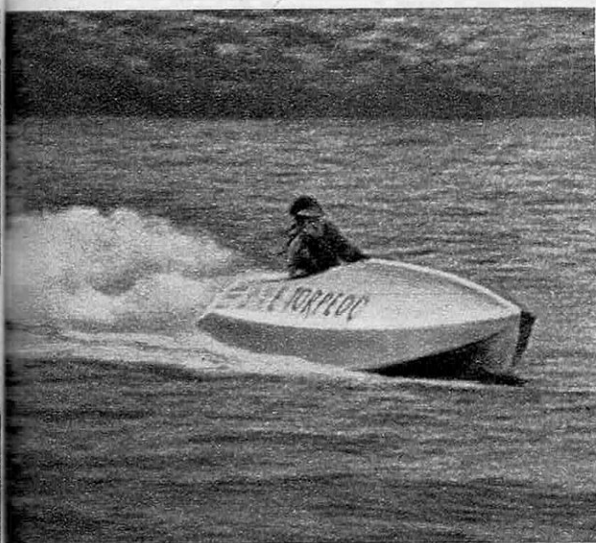
Les anciennes fusées chinoises consistaient en un tube en papier comprimé, en carton ou en bambou, contenant le mélange fusant et prolongé par une longue tige stabilisatrice en bois.

Les fusées hindoues, elles, étaient formées de tubes en fer pesant chacun de 3 à 4 kilogrammes et stabilisées par de longs bâtons de

bambou. Leur portée était de 500 à 600 m et on les tirait par centaines.

Il faut croire que l'effet meurtrier de ces engins était considérable, car c'est à la suite des pertes subies par les Anglais au siège de Séringapatam, en 1799, que le colonel William Congreve créa à Woolwich un atelier de fabrication de fusées. Les premiers essais ayant été satisfaisants, Congreve fit en 1806 de nouvelles expériences, elles aussi couronnées de succès, à la suite desquelles les fusées furent mises en service dans l'armée anglaise.

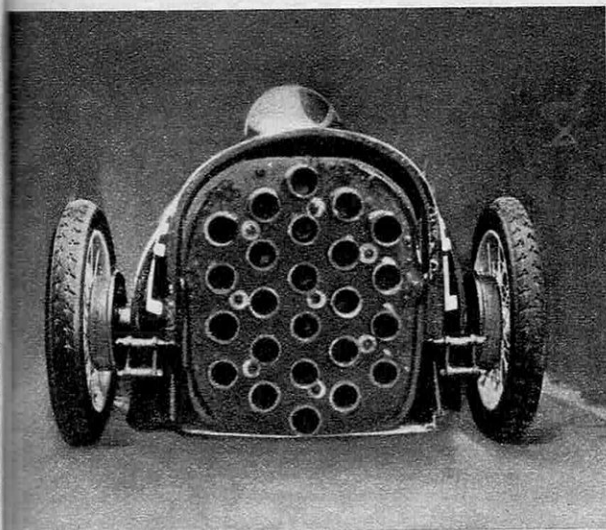
Au mois d'octobre de cette même année,



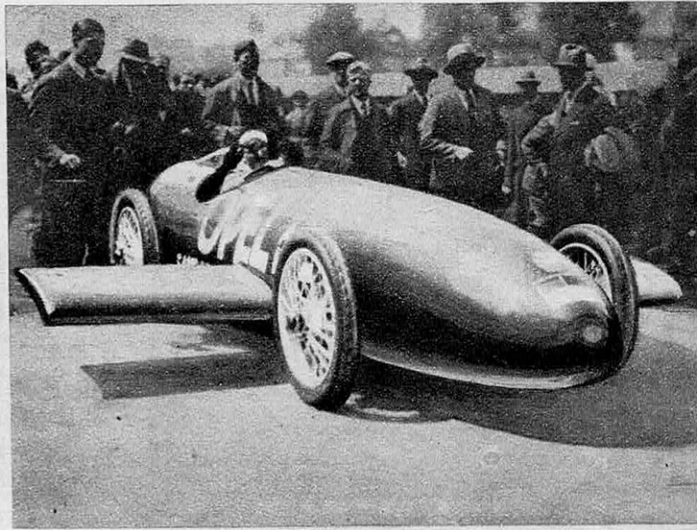
● Les grandes vitesses sur l'eau sont aujourd'hui obtenues à l'aide de canots propulsés par réaction. Celui-ci, plus modeste, servait de banc d'essai à des fusées.



● Le 30 septembre 1929, en Allemagne, Opel pilotant le premier planeur à réaction parcourut 1 500 m. L'appareil était propulsé par un ensemble de six fusées à poudre.



● Les plus étonnantes réalisations de voitures à propulsion par fusées furent celles de l'Allemand Opel. L'allumage des fusées s'effectuait à partir du tableau de bord



par salves de 2 ou 4 suivant la vitesse désirée. Le deuxième modèle construit par Opel atteignit, lors de ses essais, le 23 mai 1928, sur l'Avus de Berlin, la vitesse de 170 km/h.

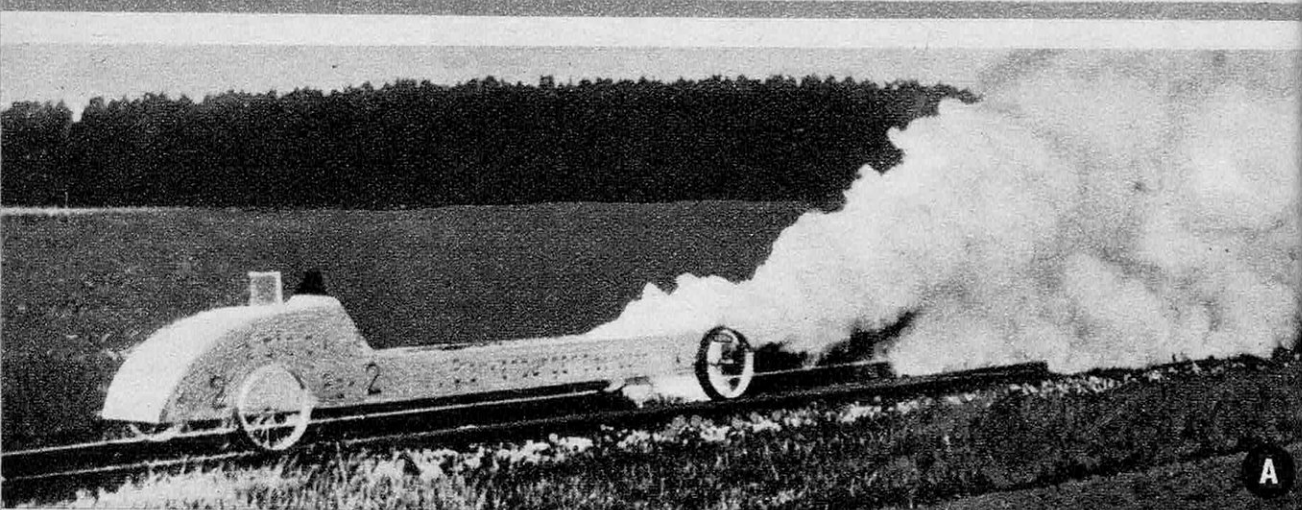
sans doute pour s'assurer de l'efficacité des fusées nouvellement fabriquées, l'escadre anglaise lançait contre Boulogne 200 fusées de 3 pouces (81 mm), brûlant trois maisons et endommageant un grand nombre de navires. L'année suivante, la flotte anglaise renouvelait son exploit, mais cette fois contre Copenhague, et détruisait presque entièrement la ville en déversant sur elle 40 000 fusées.

Les fusées britanniques intervinrent également lors du siège de Dantzig et sur le champ de bataille de Leipzig en 1813. Pendant la guerre contre l'Amérique, elles jouèrent un rôle capital lors de la bataille de Bladensburg, en 1814, qui permit la prise de la capitale fédérale et son incendie. Par contre, elles échouèrent devant Baltimore ; les mots « rockets red glare » (la leur rouge des fusées) que l'on trouve dans l'hymne national américain, ont été directement inspirés à son auteur, Francis Scott Key, par le bombardement nocturne du Fort Mc

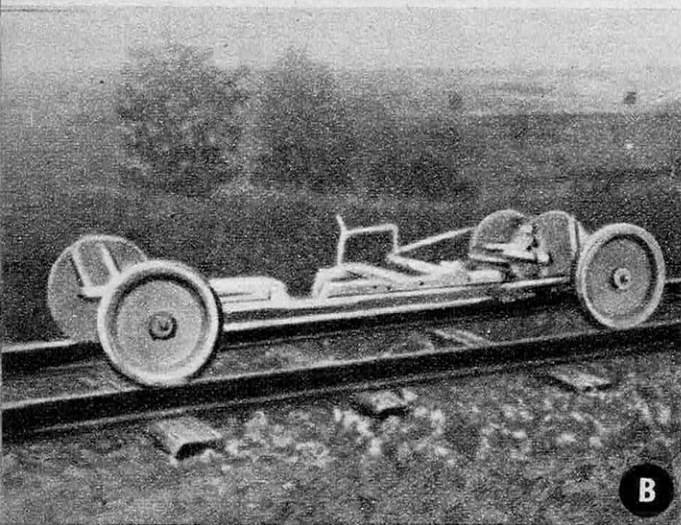
Henry auquel il assista d'un vaisseau anglais où il était retenu prisonnier.

En 1809, Congreve avait essayé de détruire la flotte française mouillée dans la rade de l'île d'Aix ; il en était résulté un certain nombre d'avaries, mais, par le plus heureux des hasards, un brûlot anglais chargé de fusées fut pris et quelques fusées envoyées à Paris par le colonel du génie de Récicourt. D'Arcet, chargé d'analyser la charge d'une de ces fusées, trouva la composition suivante : salpêtre, 53,70 ; charbon, 20,93 ; soufre, 11,37 ; eau : 14,00. Les fusées prises à l'île d'Aix pesaient un peu plus de 10 kilogrammes. La cartouche, en tôle de bonne qualité, avait 1 m de longueur et 80 mm de diamètre ; deux brides servaient à la fixer à une baguette en sapin d'environ 4 m de long.

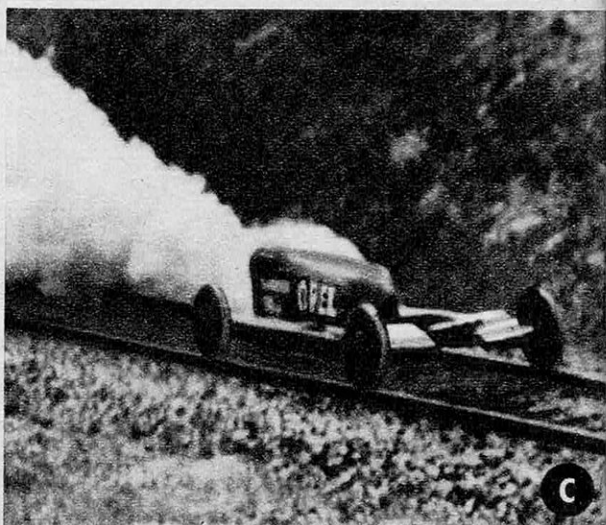
Par ordre de l'Empereur, une commission formée d'officiers d'artillerie et de membres de l'Académie des Sciences fut chargée en



A



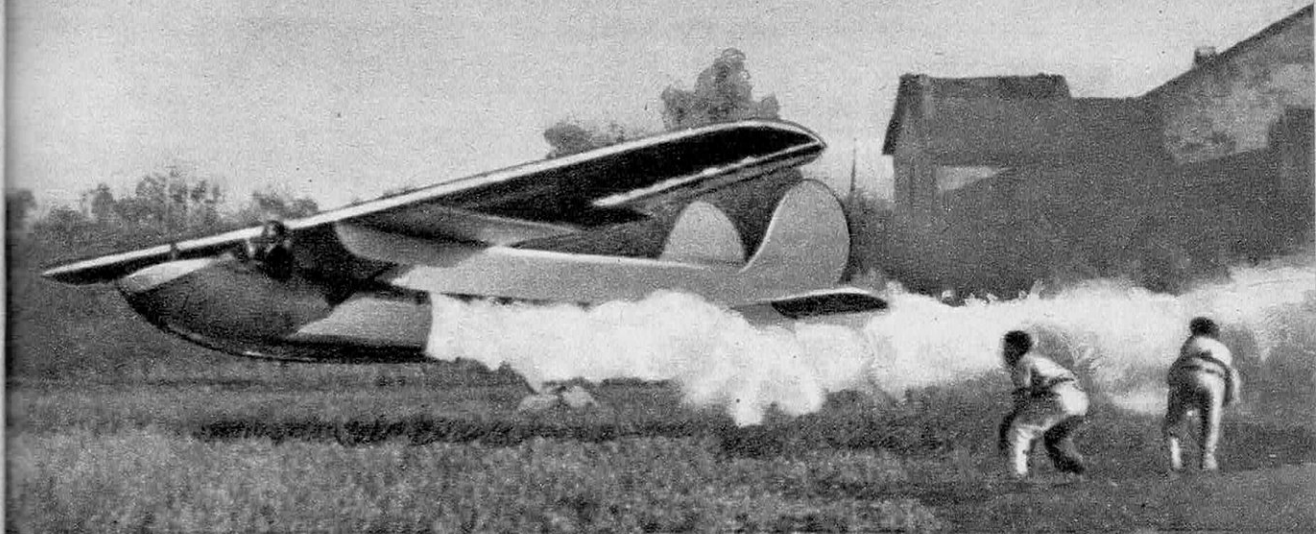
B



C

● Le 26 juillet 1928, Max Valier expérimentait un wagonnet propulsé par fusées à poudre (A) ; le 3 octobre de la même année, en collaboration avec Eisfeld, il fit un autre essai (B).

De son côté, Opel obtint avec des wagonnets, ayant à leur bord des chats sur lesquels on étudia les effets de l'accélération, des vitesses supérieures à 180 km/h (C).



● L'Italie était alors à l'avant-garde du progrès en matière d'aéronautique. Les expériences allemandes de propulsion par fusées y suscitèrent des essais sur planeur.

Le docteur Catelino, émule de Opel, réussit à parcourir quelques kilomètres avec un planeur de son invention. On peut voir ici l'appareil au moment de son envol.



● Max Valier et Heylandt firent de nombreuses expériences sur les moteurs-fusées. Leur véhicule n° 7, représenté ici, était doté d'un de ces moteurs à combustible

1810 de faire fabriquer et d'expérimenter à Vincennes des fusées semblables à celles qui avaient été prises aux Anglais. Après avoir fait établir quelques fusées identiques aux fusées anglaises, la commission de Vincennes étudia des calibres plus importants. Dès l'année suivante, on commandait à la Pyrotechnie de Toulon 2 000 fusées.

A la suite du bombardement désastreux de Copenhague, les Danois, sous la direction d'un officier de marine, M. Schumacker, avaient entrepris à leur tour de sérieuses expériences sur les fusées. Nombreux furent les progrès réalisés ; sur les instances du maréchal Davout, un officier français fut autorisé, en 1812, par le gouvernement danois, à recevoir « de vive voix » de M. Schumacker tous renseignements relatifs à la fabrication et au tir des fusées, mais il lui fut impossible de visiter l'atelier de fabrication.

Le capitaine d'artillerie Brusselle de Bruslard,



et comburant liquides. A gauche, on fait le plein en oxygène. A droite, détail de la chambre de combustion. L'explosion d'un réacteur provoqua la mort de Max Valier le 17 mai 1930.

auquel fut confiée cette mission au Danemark, parvint à se faire donner cinq fusées de divers calibres. De retour à Hambourg, il fut chargé d'organiser un atelier de fabrication. Les fusées qui y furent fabriquées n'étaient pas seulement incendiaires ; elles transportaient parfois une charge meurtrière. Leur portée moyenne était de 2 000 mètres et elles avaient une assez grande précision. Les événements de 1815, puis la Restauration ne permirent pas de continuer les expériences.

De 1815 à 1826, l'artillerie française négligea l'étude des fusées, alors que les artilleries étrangères accumulaient les expériences et adoptaient définitivement cette arme.

Cependant la Compagnie d'Artificiers créée en 1815 confectionnait tous les ans, suivant les données du capitaine de Bruslard, une vingtaine de fusées destinées uniquement à l'instruction du personnel. Plus soigneusement fabriquées et supérieures en qualité à celles de Hambourg, elles avaient une portée d'environ 4 000 mètres.

A la fin de 1826, l'Anglais Robert Bedford fabriqua pour le compte de la France 50 fusées perfectionnées qui furent tirées à Vincennes les 6 et 16 octobre 1827. La principale modification apportée par Bedford consistait en ce que la baguette était vissée dans le culot suivant l'axe de la cartouche. Et les militaires d'alors pouvaient dire que « la marche des fusées était assez régulière pour que, par un vent modéré, un corps exercé à ce genre de tir puisse s'en servir à la guerre avec une justesse suffisante ».

La première amélioration apportée aux fusées de Bedford est due au capitaine Munier ; elle consista à employer une poudre de combustion plus rapide ; celle-ci au lieu d'être triturée à la main, le fut (à partir de 1829) dans des tonnes à l'aide de gobelets de bronze. Cette trituration durait quatre heures. Les fusées chargées avec cette composition nouvelle quittaient le chevalet environ un tiers de seconde après la mise à feu, alors que celles qu'avait fabriquées Bedford en 1827 y restaient en moyenne 2 secondes et demie. La précision,



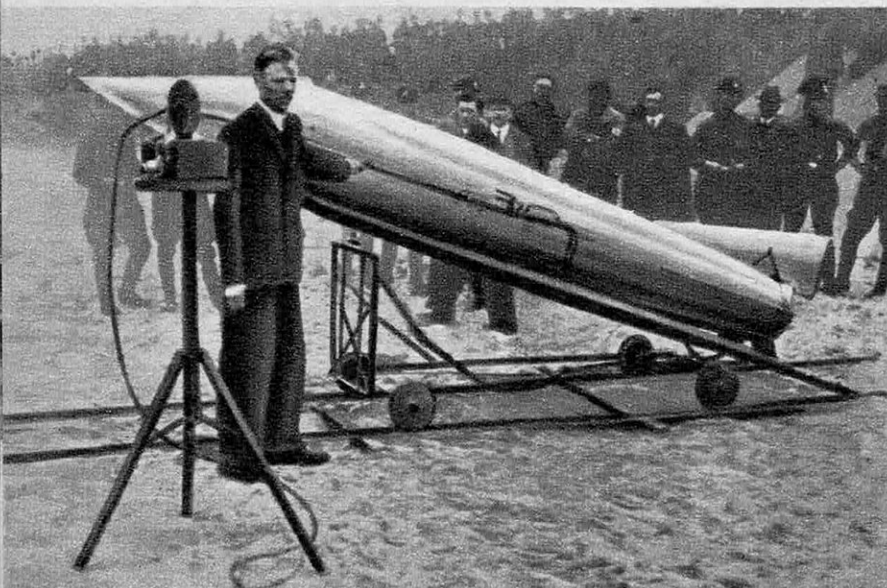
● L'une des premières fusées expérimentées à la Raketenflugplatz était du type «Mirak». On voit ci-dessus un des chercheurs la mettre en place sur son support.

surtout dans le tir sous de petits angles, fut sensiblement augmentée. Ce sont ces fusées que l'armée française employa pour la première fois sur le champ de bataille au combat de Stauvelli.

En 1832, Bedford proposa de communiquer aux fusées un mouvement de rotation autour de leur axe, de façon à augmenter la précision de leur tir, et de munir leur charge explosive d'un dispositif percutant. Après plusieurs essais, ces propositions furent repoussées.

En 1833, une modification rendit plus rapide la mise en place de la baguette.

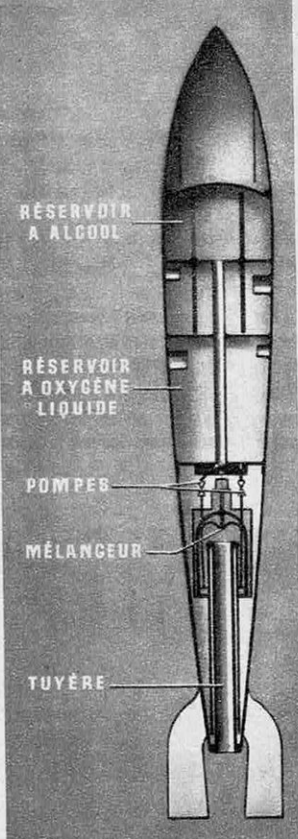
En 1845, le lieutenant-colonel Goupil proposa de remplacer les baguettes des fusées par trois larges ailettes en tôle fixées à l'extrémité postérieure de la cartouche. Il préconisa en même temps l'emploi d'une



◀ L'ingénieur Zücker, semblant ignorer les avantages des fusées à liquides, lança au cours d'une démonstration spectaculaire une fusée postale à combustibles solides qui tomba à la mer en n'ayant franchi que quelques dizaines de mètres.



● La chambre de combustion de la Mirak était fortement refroidie par l'oxygène liquide.



● En 1930 et 1931, Oberth, Riedel et Nebel mirent au point une fusée qui présentait déjà tous les caractères d'une V-2. Longue de 2,18 m et d'un diamètre de 35 cm, elle aurait théoriquement dû s'élever à 20 km d'altitude. Dans la réalité, elle ne dépassa pas 100 m.



âme presque cylindrique au lieu de l'âme tronconique, et celui d'un seul évent central d'assez grand diamètre.

Le capitaine Rouge avait aussi proposé une caisse de transport pouvant servir en même temps pour le tir en salve de 6 fusées. Une caisse de ce modèle, mais pour 4 fusées seulement, devint réglementaire en 1852.

En 1846, l'Américain William Hale proposa au Gouvernement français une fusée de son invention. L'expérimentation ne donna qu'un résultat médiocre et n'eut pas de suite.

L'inventeur eut plus de succès aux Etats-Unis. Il proposait de remplacer la baguette stabilisatrice par trois volets incurvés disposés à la partie inférieure. Les gaz éjectés à grande vitesse faisaient ainsi tourner le corps de fusée autour de son axe, en le stabilisant sur sa trajectoire. 2 000 de ces engins furent fabriqués en 1847 et utilisés dans la guerre contre le Mexique, en particulier lors du débarquement de Vera Cruz et de la prise de Chapultepec.

D'après les rapports venant de l'étranger, les diverses artilleries européennes avaient obtenu des résultats supérieurs à ceux de l'artillerie française ; aussi, pour ne pas se laisser distancer, décida-t-on de dresser un programme d'études en quatre points : étude de la composition fusante, des dimensions de l'âme et des évents ; étude des moyens de direction ; application des principes trouvés à la confection

des fusées ; étude du meilleur procédé de fabrication.

Pour étudier la puissance des diverses compositions, on renonça à tirer les fusées ; on les fit agir par traction sur les lames d'un dynamomètre enregistreur, ce qui permit de mesurer à chaque instant la force développée. Le résultat de ces études fut de faire connaître que la composition employée jusqu'alors agissait trop lentement, et qu'il y avait en outre un grand avantage à employer une âme cylindrique au lieu d'une âme conique.

Lorsque, six ans plus tard, le commandant Susane fut nommé directeur de l'Ecole de Pyrotechnie, son premier soin fut de demander la suppression du programme, qu'il considérait « comme un obstacle au prompt établissement d'un système de fusées de guerre ».

Dès l'annulation de ce programme, le commandant Susane reprit ses études sur le mode de compression de la charge des fusées au moyen de la presse hydraulique, étude à peine entamée en 1834 par Bedford.

Des essais entrepris par comparaison entre les fusées autrichiennes et les fusées françaises démontrèrent la supériorité de celles-ci. En effet, les fusées françaises avaient une trajectoire plus régulière ; plus lourdes, elles avaient une portée plus grande ; enfin leur baguette plus courte facilitait le transport et l'emploi.

Ces expériences étaient à peine terminées

que l'empereur d'Autriche prescrivit d'urgence l'étude d'une fusée pouvant être lancée à 5 000 mètres. Un nouvel engin fut donc immédiatement mis en construction. Il avait 92 mm de diamètre et une âme conique de 690 mm de long au lieu des 510 mm des modèles précédents (l'âme conique étant nécessaire pour faciliter le démontage).

Après de nombreuses expériences, dont certaines furent mortelles, on réussit à obtenir à Metz, vers la fin de 1854, des portées de 6 000 à 8 000 mètres. Lors des premiers tirs, on constata que, par suite de la chaleur développée près du culot et de la faible épaisseur de la tôle, la cartouche se courbait à son extrémité, ce qui entraînait l'irrégularité du tir. Ce défaut corrigé, l'Ecole de Pyrotechnie reçut l'ordre de fabriquer 24 000 fusées destinées à l'armée d'Orient.

En 1855, l'Ecole entreprit quelques études sur une fusée de 170 mm, pouvant lancer la bombe de 32 au-delà de 4 000 m. Mais ces études restèrent théoriques en raison du poids excessif de l'engin (175 kg) et des difficultés de fabrication.

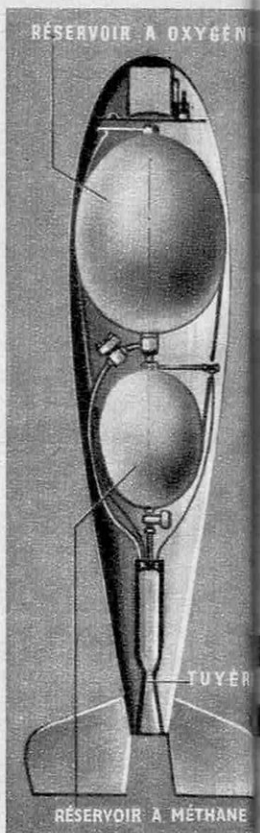
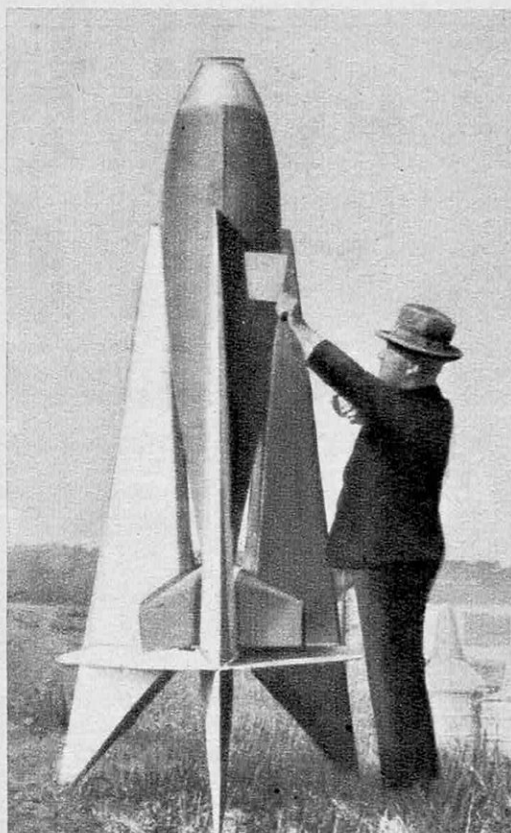
Pendant la guerre de Crimée, l'artillerie de marine fit usage d'un affût à tube très court, en cuivre, fixé par deux brides à une traverse en bois. Pour le service à terre, cette traverse se plaçait au sommet d'un chevalet du genre de ceux qu'emploient les peintres.

Au siège de Sébastopol, on utilisa pour le tir des fusées de gros calibre et de montage un affût-trépied à auget, muni d'une platine percutante destinée à mettre le feu aux fusées par l'intermédiaire d'une amorce fulminante. Cet affût fut remplacé en 1857 par un autre, dit « affût à crémaillère », qui fut le seul employé en Kabylie où il donna toujours de bons résultats. L'auget de cet affût était composé de deux lames de forte tôle ayant 1 m de long, qu'on avait assemblées par des brides en fer, de façon à former une gouttière dont le sommet était ouvert. Il était monté à tourillons sur un support muni d'un pivot qui se plaçait sur le plateau d'un trépied.

Jusqu'en 1857, pour mettre le feu aux fusées, on faisait usage de la « lance à feu » ordinaire; mais comme ce procédé exigeait qu'on eût en permanence une mèche à canon allumée, les fuséens d'Algérie prirent la dangereuse habitude de mettre le feu aux fusées en tirant de très près dans le culot un coup de mousqueton chargé à poudre. Ce n'est qu'en 1865 qu'une

« étoupe-lance » fut rendue réglementaire.

En 1856, on entreprit à Suippes un certain nombre d'essais qui conduisirent les artificiers à apporter à la fabrication les modifications suivantes : les presses de chargement furent dotées de dynamomètres, ce qui évita de nombreux accidents; on renonça à employer la poudre de mine, qu'on remplaça par une poudre spéciale grenée en rond et dont la composition était intermédiaire entre celle de la poudre de mine et celle de la poudre à canon. Il était nécessaire en effet d'avoir une composition plus vive, afin d'accroître l'accélération au départ et, par là, d'obtenir une trajectoire plus régulière. La fusée réalisée sur ces nouvelles bases



● La deuxième fusée construite par Johannes Winkler brûlait du méthane dans l'oxygène liquide. Elle devait, suivant les espoirs de son constructeur, monter à 50 km. Mais pour une raison inconnue, elle explosa à 50 m d'altitude.

fut employée avec un grand succès en Kabylie (1867), mais, vu sa longueur (1,70 m), elle ne pouvait être transportée dans la caisse de montage alors réglementaire; en outre, son tir sous de petits angles n'était pas très efficace.

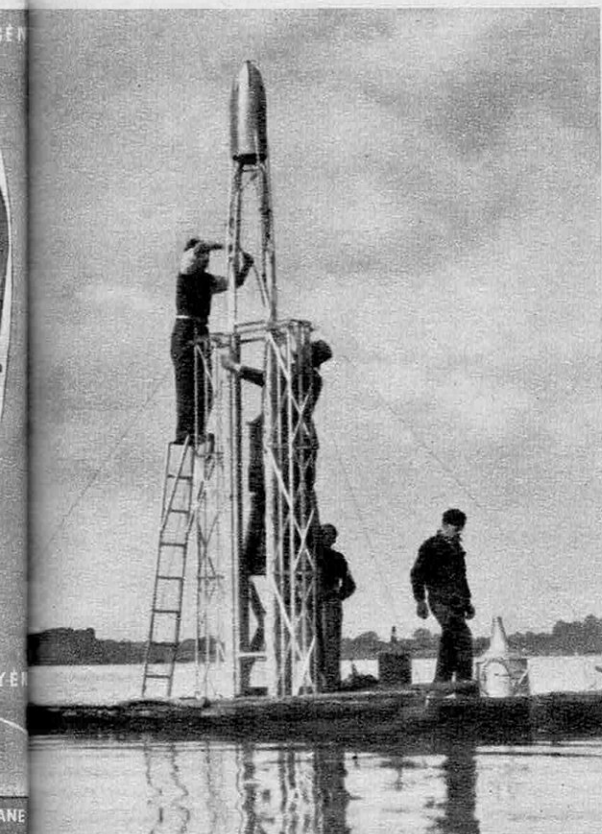
Vers 1860, on reprit les études sur les fusées à rotation, qu'on faisait mouvoir autour de leur axe au moyen d'évents obliques. Les expériences faites avec des événements placés à la base de la cartouche avaient complètement échoué.

En plaçant les événements à la hauteur du centre de gravité, on n'obtint que des résultats assez médiocres. En les disposant en tête, sous la charge de guerre, on parvint à des résultats satisfaisants en portée et direction.

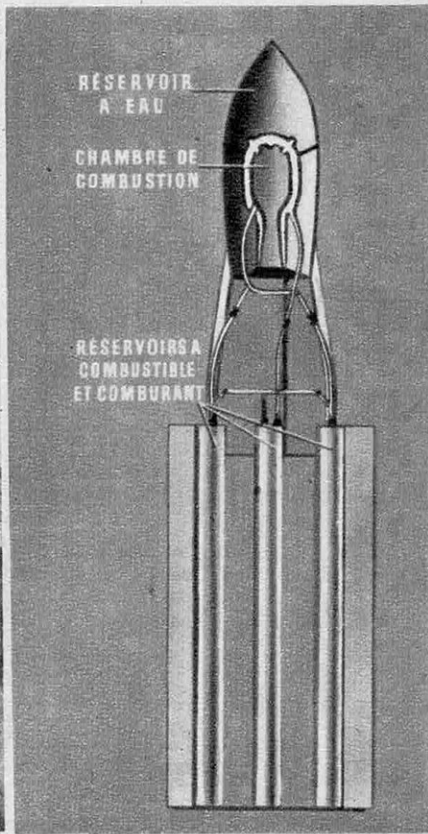
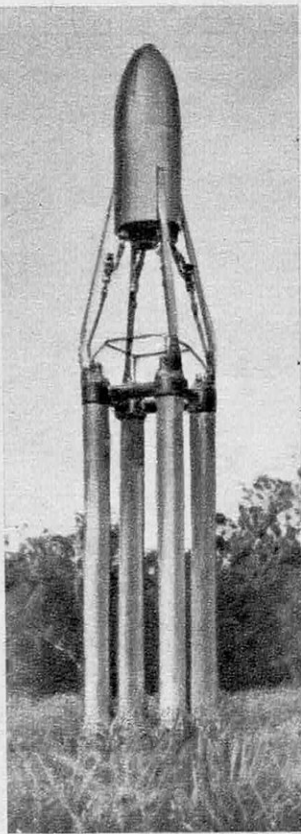
On avait constaté en 1860 qu'à l'impact la cartouche écrasait le chapeau et le désorganisait. Pour éviter cet inconvénient, on plaça entre le chapeau et la tête de la cartouche une petite quantité de poudre formant chasse, qui séparait le chapeau de la cartouche au sommet de la trajectoire. Ce fut une réussite.

Afin de se rendre compte si la fusée avait assez de puissance pour porter de grandes charges de poudre, on construisit deux barils

creux à parois épaisses, qui contenait une composition tassée comme dans une fusée. Il était tiré par un canon rayé; la composition fusante s'enflammait au moment du départ et communiquait au projectile une impulsion supplémentaire qui devait compenser en partie la vitesse perdue pendant le trajet. Quelques obus-fusées furent ainsi tirés avec un canon de 30 mm rayé. Les premiers, tirés à faible charge, donnèrent de bons résultats avec une augmentation de portée par rapport aux obus ordinaires de 30 mm, lestés au même poids et tirés avec la même charge. Mais les obus-fusées tirés avec des charges un peu fortes firent tous explosion dans



● L'ingénieur Nebel expérimenta sur le Schwilowsee des fusées « Repulsor » dotées d'une tuyère à l'avant. Il croyait ainsi obtenir une meilleure stabilité de vol. La tuyère à



elle seule pesait 7,5 kg; 4 réservoirs tubulaires contenaient combustible et comburant. L'expérience du 9 septembre 1933 démontra l'inefficacité du système qui fut alors abandonné.

cerclés de fer, destinés à la coiffer. Lestés de 150 kg de sable, ces barils furent tirés sur l'affût de siège sous l'angle de 60°. Quoique l'affût eût basculé autour de son point d'appui avant au moment où le projectile arriva au sommet de l'auge, les barils furent portés à 400 mètres; la trajectoire fut presque horizontale.

En 1863, on fit à Vincennes quelques expériences sur un obus-fusée. C'était un obus ogival ordinaire portant à son culot un cylindre

l'âme, et l'on abandonna tous les essais.

Au commencement de 1870, le matériel de fabrication des fusées fut transporté de Metz à Bourges, nouveau siège de l'École de Pyrotechnie, et en 1872, les fusées de guerre ayant été retirées du service, il fut démonté et en partie détruit.

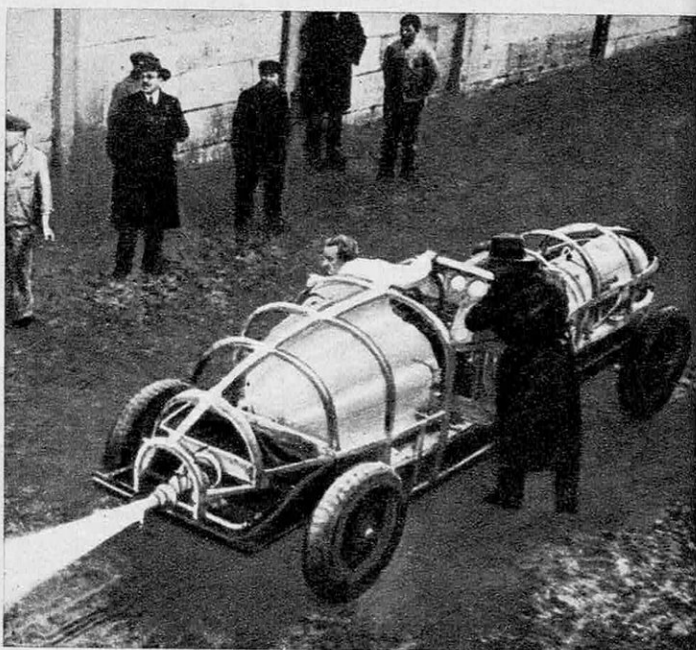
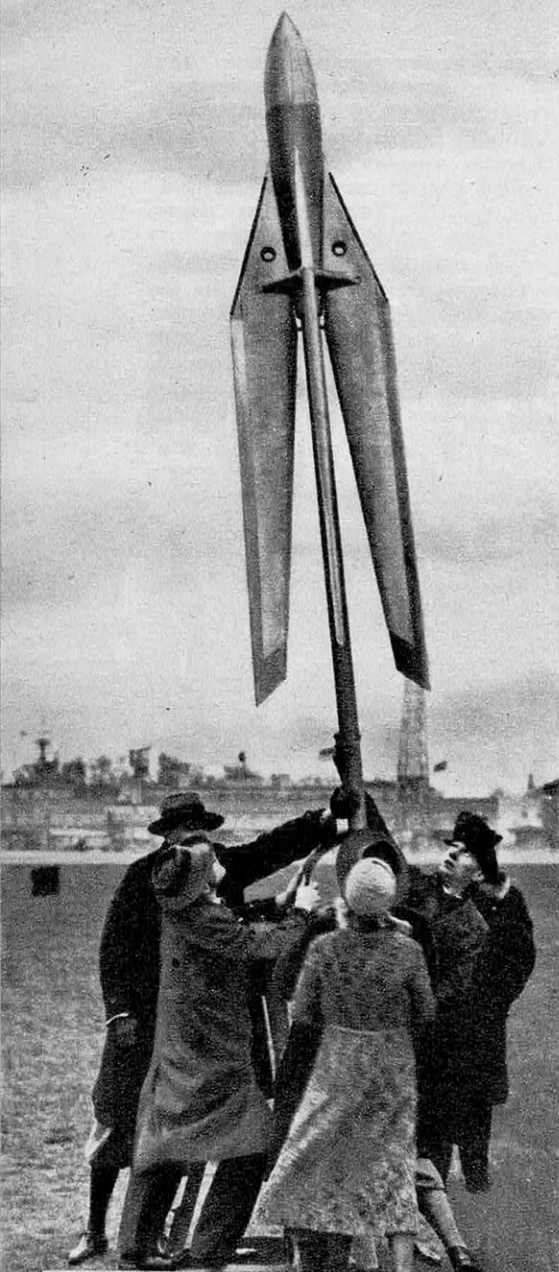
Surclassée par le canon rayé, beaucoup plus précis, et dont on savait absorber le recul, la fusée disparut à nouveau des champs de bataille.

LES RECHERCHES MODERNES : L'AMÉRICAIN GODDARD

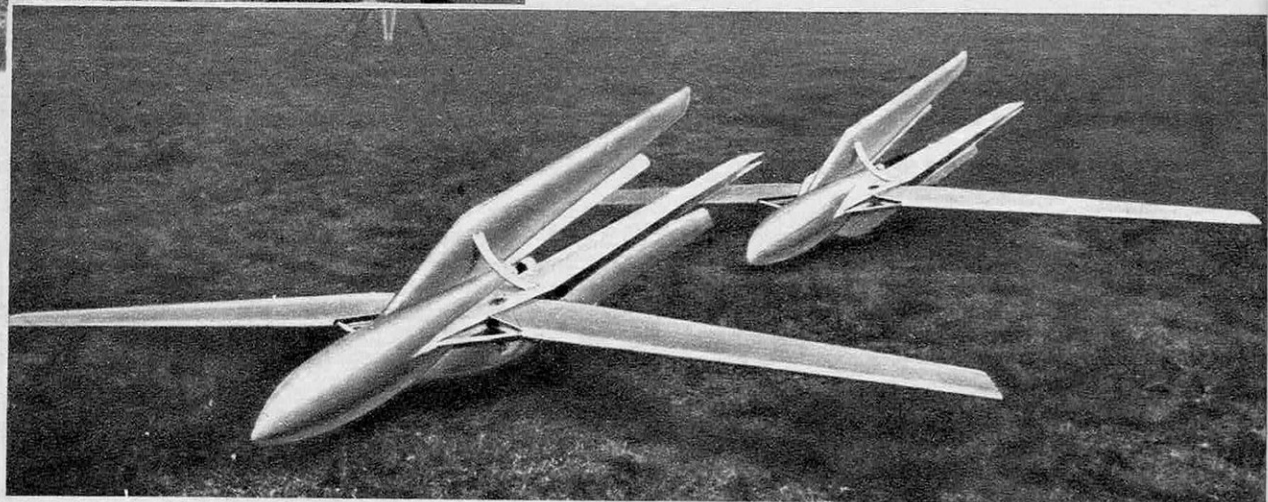
Il semblait bien, au début du siècle, que la cause fût définitivement entendue. La fusée au passé si glorieux ne subsisterait plus que sous la forme de fusées pour feux d'artifices, de fusées de signalisation, de fusées paragrèles ou de fusées porte-amarres pour le sauvetage en mer.

En réalité, tout restait à faire et un champ immense d'applications nouvelles allait bientôt s'ouvrir devant elles.

Les travaux originaux qui allaient orienter les re-



● Avant d'être livrée à la curiosité du public, l'auto-fusée de Opel, à combustibles liquides (essence et oxygène liquide), fut soumise à de sérieux essais au banc. Ci-dessus, essais dynamométriques.



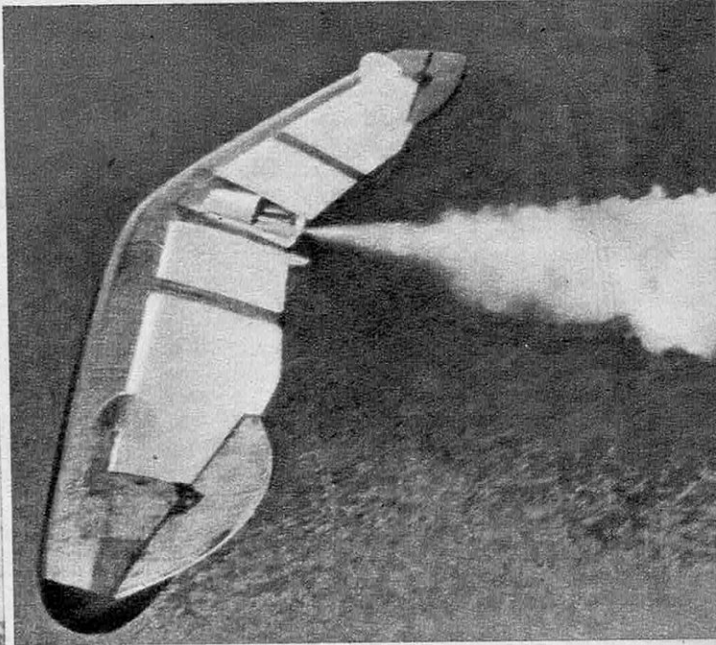
cherches sur des voies nouvelles et fécondes furent l'œuvre de chercheurs isolés, disposant de moyens financiers précaires. Le but qu'ils semblaient poursuivre était bien de ceux qui devaient laisser sceptiques les services gouvernementaux. Ne s'agissait-il pas d'étudier des engins capables d'entreprendre des voyages hors de l'atmosphère terrestre? C'est bien la recherche astronautique en effet qui donna l'impulsion première aux travaux modernes sur les fusées brûlant des combustibles solides et surtout des combustibles liquides, engins dont la mise au point devait, quelque

de Tziolkowsky, et jouèrent sans doute un rôle dans l'orientation des recherches du physicien américain Goddard.

Robert H. Goddard, professeur au Clark College de Worcester, avait entrepris dès 1909 des recherches sur les fusées de sondage de la haute atmosphère. Il s'intéressa tout d'abord, comme ses devanciers, aux fusées à poudre dont il entreprit l'étude méthodique entre 1915 et 1918. La méthode d'expérimentation était aussi simple qu'ingénieuse. La chambre de combustion de sa fusée pouvait varier de volume grâce à un jeu de tubes. A son extrémité



● Des patineurs se firent propulser par des fusées fixées à leur dos. Expérience inutile et qui entraînait de dangereuses pirouettes si le patineur relevait le buste.



● C'est à Bremen que l'ingénieur Espenlaub expérimenta une aile volante de sa conception. L'appareil, qui pesait 150 kg, s'élevait à 10 m au-dessus du sol, parcourut 1 000 m.

trente ou quarante ans plus tard, révolutionner l'art militaire.

Le mérite en revient en premier lieu au Russe Constantin Eduardovitch Tziolkowsky qui, dès 1896, avait souligné que la fusée était le seul moyen de propulsion possible hors de l'atmosphère et suggéré de substituer aux combustibles solides, seuls employés jusque-là, des combustibles liquides. Les suggestions de Tziolkowsky influencèrent profondément les travaux du Roumain Oberth, dont un assistant, A. B. Scherschewsky était d'ailleurs un élève

venaient se visser des tuyères de toutes formes et dimensions. Ainsi pouvait-on obtenir les résultats les plus variés et déterminer les caractéristiques de la fusée optimum.

Goddard améliora de 65 % le rendement des fusées à poudre et démontra que dans le vide il augmentait de 22 %. La Smithsonian Institution de Washington subventionnait ses travaux, puis, la guerre ayant été déclarée, l'Armée s'y intéressa et ils se poursuivirent en grand secret, d'abord dans un bâtiment isolé du Worcester Polytechnical Institute, puis dans les ateliers de l'Observatoire du Mont Wilson, à Pasadena. Un certain nombre de fusées, toujours à combustibles solides, furent construites et essayées avec succès. En novembre 1918, en particulier, il fit la démonstration d'un tube léger pour le lancement des fusées, véritable canon sans recul qui préfigurait le « bazooka ». L'armistice interrompit ces travaux.

← Tilling, qui trouva la mort avec ses deux collaborateurs au cours d'une expérience, avait conçu des fusées à poudre différant des fusées classiques par un dispositif de déclenchement des ailes permettant d'accroître la portée. Celle-ci fut de 18 km aux premiers essais. A gauche, on voit la mise en place d'une de ces fusées.



◀ Imitant les chercheurs allemands, quelques audacieux songèrent à établir en Amérique des liaisons postales par avions-fusées. La tentative devait être des plus décevantes pour les techniciens puisque le premier planeur expérimental ne parcourut que quelques mètres et que les expériences furent abandonnées. Mais elle ne le fut pas pour les philatélistes qui, malgré cet échec, n'en cotèrent pas moins au plus haut cours les timbres spéciaux qui avaient été émis à cette occasion.

En 1919, il publia un important ouvrage sur les fusées qui produisit dans le monde une véritable sensation, car il y étudiait scientifiquement les conditions nécessaires pour envoyer une fusée de sondage sur la Lune.

Goddard semble avoir été le premier à bien comprendre l'importance de la vitesse d'éjection et les avantages des combustibles liquides pour les grandes portées. Bien qu'il n'ait été question dans son ouvrage que de combustibles solides, il commença à expérimenter dès 1920 sur les mélanges liquides et à étudier au laboratoire l'emploi de l'oxygène liquide, du propane et de l'éther. C'est en 1926 qu'il lança la première fusée à liquides (oxygène liquide et essence). Elle parcourut 56 m en 2,5 secondes. En 1929, un autre engin de sa construction monta à 300 m.

Soutenu par le mécène Daniel Guggenheim, le professeur Goddard put poursuivre ses recherches sur une plus grande échelle et s'attacher aux multiples problèmes que posait la réalisation de ses engins : forme et refroidissement de la chambre de combustion, disposition des réservoirs de combustible et de comburant dans le corps de la fusée, mise au point du système d'alimentation, stabilisation automatique de la trajectoire. Goddard est sans doute le premier à avoir réussi à utiliser dans ce dernier but les systèmes gyroscopiques.

Les essais entrepris entre 1930 et 1932, avec une chambre de combustion de 146 mm, pesant 2,270 kg, fournirent avec l'oxygène liquide et l'essence, les résultats suivants : poussée maximum 131 kg; durée de la combustion 20 secondes; vitesse d'éjection 1 700 m/s. Une fusée de 3 m de long, 0,7 m de diamètre et pesant 15,2 kg, équipée de ce moteur, atteignit 600 m d'altitude et une vitesse de 800 km/h. Au cours d'autres vols, des vitesses de 930 km/h,



● Il existe un volumineux catalogue de timbres émis pour les liaisons postales par fusées. Les plus appréciés sont ceux qui servirent à l'affranchissement des lettres expédiées en 1931 par F. Schmiedl.

puis 1 185 km/h furent atteintes. Enfin, le 31 mai 1935, une fusée pesant au départ une quarantaine de kilogrammes monta à 2 750 m, puis le 14 octobre, à 1 350 m. Le contrôle s'effectuait d'un abri situé à 300 m de la tour de lancement, et on filmait les phases de l'ascension.

Goddard a été non seulement un physicien hors de pair et un expérimentateur ingénieux, mais aussi un mécanicien d'une adresse exceptionnelle. Il ne prit pas moins de 150 brevets sur les sujets les plus divers, sans compter ceux qui demeurent encore secrets. Malheureusement ses recherches ont rarement abouti à des réalisations exploitées sur le plan pratique. Ses

travaux n'ont probablement pas été sans influence sur l'orientation de la technique américaine des engins spéciaux, mais il fait surtout figure aujourd'hui de génie méconnu de son vivant.

Ne quittons pas les Etats-Unis sans mentionner les essais de G. E. Pendray qui, ayant eu l'occasion d'assister en Allemagne aux expériences de la « Raketensflugplatz » dont nous parlerons plus loin, s'empressa, dès son retour aux Etats-Unis, de construire une fusée à liquides qui, par bien des points, rappelait celle de l'ingénieur Nebel

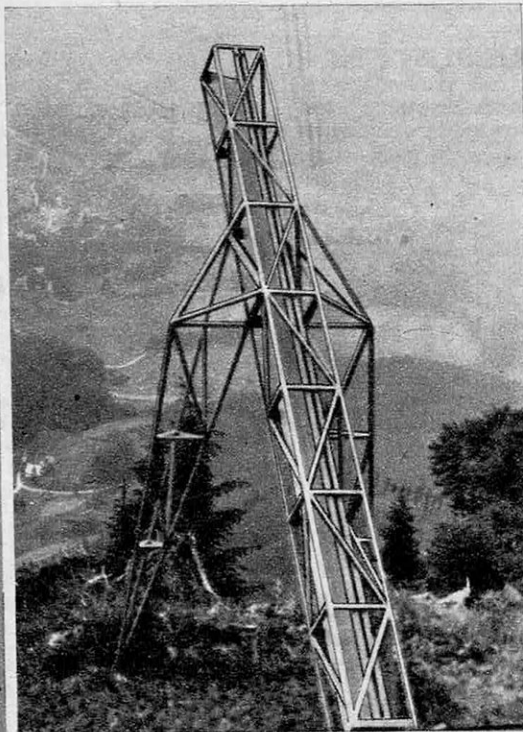
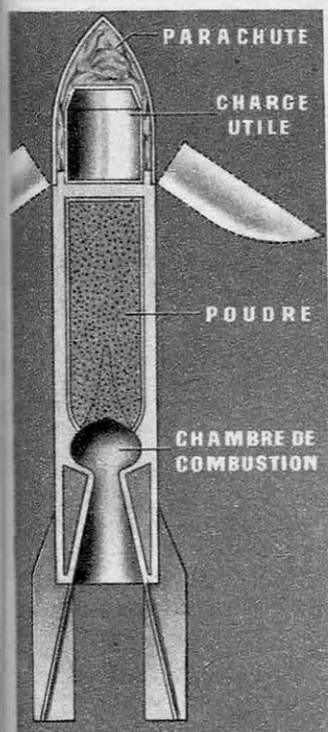
La réalisation de ce premier modèle nécessita de la part des constructeurs — qui ne disposaient que d'un budget limité — une ingénio-

rant une poussée de 28 kg. Cette première fusée coûta à ses constructeurs 49,4 dollars y compris les frais de l'expérience.

Poursuivant les recherches d'Edward Pendray, Bernard Smith construisit une deuxième fusée, qu'il lança à Marine Park, Staten Island, le 14 mai 1933. Vers la fin de la même année, la fusée n° 3 est achevée.

Après une quatrième expérience qui n'est qu'un demi-succès, les Américains jugent plus sage de ne plus poursuivre les études qu'au point fixe, conformément à un programme des plus précis établi par un Comité de Recherches.

Reprenant l'idée exposée quelque dix ans auparavant par Goddard, il construisent une chambre de combustion démontable et dont les



● Longue de 1,70 m la fusée postale de F. Schmiel était un engin à poudre de construction très simple. Elle permet néanmoins d'assurer des liaisons rapides entre

villages séparés par des montagnes. A droite, on voit le départ d'une de ces fusées qui emportaient généralement 200 lettres. Au centre, le pylône de lancement des fusées postales.

sité louable : à part le moteur, qui fut commandé à l'Aluminium Company of America, tout le reste fut acquis et monté par Pendray et Pierce. Ainsi, le refroidisseur à eau fut un shaker à cocktail ; un parachute, qui était logé dans la partie supérieure de l'engin, confectionné par Mrs Pendray, reposait sur une petite casserole en aluminium dont on avait enlevé la poignée : quant au mécanisme d'éjection du parachute, il consistait en un mouvement d'horlogerie et en un ressort acheté 10 cents chez un brocanteur. Le 13 novembre 1931, on procéda, près de Stockton, aux premiers essais qui furent satisfaisants. Le moteur brûla 20 secondes, assu-

dimensions peuvent varier. Les différentes parties une fois réunies, quatre tiges filetées terminées par des écrous assurent à l'ensemble une parfaite rigidité. En outre, des tuyères se vissent simplement sur la chambre de combustion et, suivant le but recherché, varient en forme et en longueur.

À la suite de ces recherches méthodiques, l'Institut Technologique d'Annapolis, en Californie, entreprit à son tour une série d'essais.

Le travail le plus marquant fut la mise au point d'un moteur capable de supporter des pressions de l'ordre de 70 kg/cm² et une poussée de 9 kg. L'élément réfractaire de la chambre de combus-

tion et de la tuyère était le graphite, capable de supporter 3 000° C. L'expérience, effectuée sous une pression de 21 kg/cm² pendant une minute, permit de constater le parfait comportement de la chambre de combustion et de la tuyère.

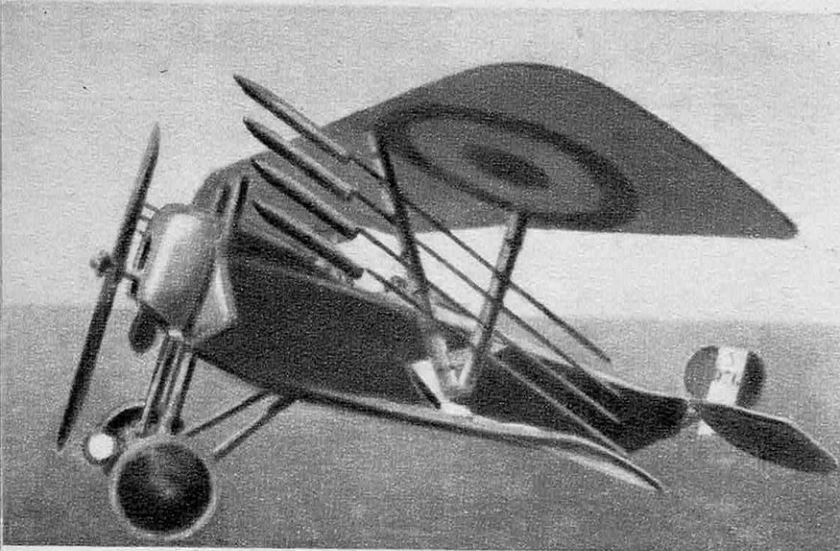
A partir de 1931, l'American Interplanetary Society avait encouragé les expériences sur les fusées à liquides près de New York; celles de Californie eurent lieu sous la direction du célèbre aérodynamicien von Karman. Ainsi se formèrent de petits centres d'expérimentateurs auxquels vinrent se joindre vers 1933 des réfugiés allemands. Bien que sans aucun lien avec les organismes officiels, ils n'en rassemblèrent pas moins une intéressante moisson de résultats dont profitèrent les réalisations américaines de la deuxième guerre mondiale.

OBERTH ET LA « RAKETENFLUGPLATZ »

En Allemagne, où la fusée à longue portée devait finalement voir le jour, les recherches débutèrent d'une manière assez inattendue.

aux idées exposées dans son ouvrage. Des essais préliminaires furent entrepris avec les combustibles et les comburants les plus variés. On s'arrêta finalement à l'essence et l'oxygène liquide et, en juillet 1929, deux fusées en magnésium furent construites, de 1,50 et 1,90 m de long. Malheureusement, les commanditaires trouvèrent sans doute ces expériences trop onéreuses et peu utiles et, renonçant à voir construire la grande fusée imprudemment promise par Oberth, résilièrent le contrat.

Mais la publicité faite autour du film servit d'une manière inespérée la cause astronautique et, surtout en Allemagne et en Autriche, suscita de nombreuses vocations. A Berlin, en particulier, on vit éclore au début de 1928 une véritable frénésie de recherches sur l'application du principe de la réaction à la propulsion des véhicules les plus divers : automobiles, wagons, trains, bateaux, planeurs, etc. Elles étaient pour la plupart sans grande valeur, mais non dépourvues de danger, car elles faisaient appel en général à de la poudre à canon comprimée. C'est ainsi qu'en 1933, l'ingénieur Reinhold Tiling trouva la mort avec ses deux



En 1916, les fusées à poudre Le Prieur montées sur les avions Nieuport permirent de détruire une cinquantaine de ballons captifs allemands. Ces fusées étaient fixées aux mâts de la voilure de l'avion par des tubes dans lesquels coulisait la bague de chacune d'elles. Le pilote pouvait en lancer plusieurs à la fois grâce à une commande électrique.

La dernière-née des fusées françaises, « Véronique », quitte le sol au cours de ses premiers essais. Le croisillon situé derrière l'empennage fait partie d'un ingénieux système de stabilisation sur les 50 premiers mètres de la trajectoire : quatre fils de fer de tension convenable ramènent l'engin sur la verticale s'il s'en écarte.

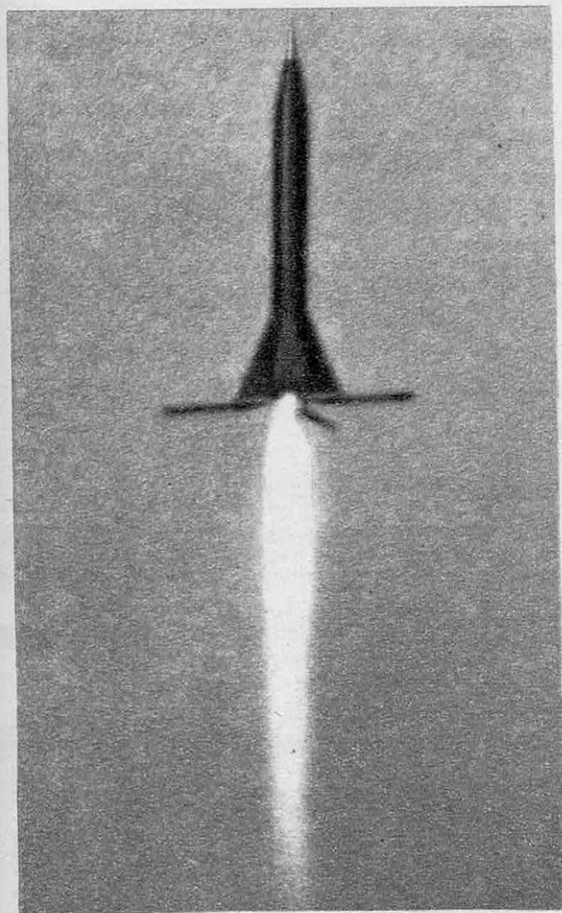
Un professeur roumain, Hermann Oberth, influencé sans aucun doute par les idées émises par Tziolkowsky, avait été ainsi amené à préconiser l'emploi de l'hydrogène et de l'oxygène liquides pour les voyages extraterrestres et celui de l'alcool et de l'oxygène liquide pour la propulsion à basse et moyenne altitudes. C'est précisément ce mélange qui servit beaucoup plus tard sur les V-2. Il en arriva finalement à dessiner des modèles de fusées interplanétaires à multiples étages devant fonctionner sur ces principes et les publia en 1923. Quelques années plus tard, en 1927, la firme cinématographique allemande U.F.A. imagina de tourner un film d'anticipation : « La Femme dans la Lune », et le producteur Fritz Lang offrit à Oberth d'importants crédits pour la construction d'une fusée conformément

collaborateurs dans une violente explosion qui anéantit son laboratoire. Les résultats qu'avait obtenus Tiling étaient cependant des plus intéressants. Ses fusées à poudre, d'abord expérimentées au banc d'essai, brûlèrent pendant 11,5 secondes, et sur le terrain de Tempelhof, ses fusées ailées dépassèrent facilement 2 000 m d'altitude. L'une d'elles atteignit même 8 000 m, terminant sa trajectoire à 18 km de son point de lancement.

Alors que Opel, Sander, Lippisch et bien d'autres équipaient leurs véhicules de fusées à poudre, Paul Heylandt, spécialiste des gaz liquéfiés, étudia les fusées à oxygène liquide, mais son collaborateur Max Valier fut tué au cours d'une de ses expériences.

C'est aussi vers cette époque que se situe la grande vogue des fusées postales auxquelles

s'attachent surtout les noms de Fritz Schmiel et de Gerhard Zücker. Le premier fabriqua à Gratz treize fusées avec lesquelles il entreprit de transporter du courrier, la première tentative ayant lieu le 2 février 1931. Elles lui donnèrent satisfaction. Leurs caractéristiques étaient les suivantes : matériau utilisé, aluminium; hauteur 1,70 m; largeur 0,25 m; poids à vide 7 kg; poids de la charge de poudre 24 kg. Quant à Zücker, il réussit à intéresser à ses fusées postales le Postmaster-General britan-



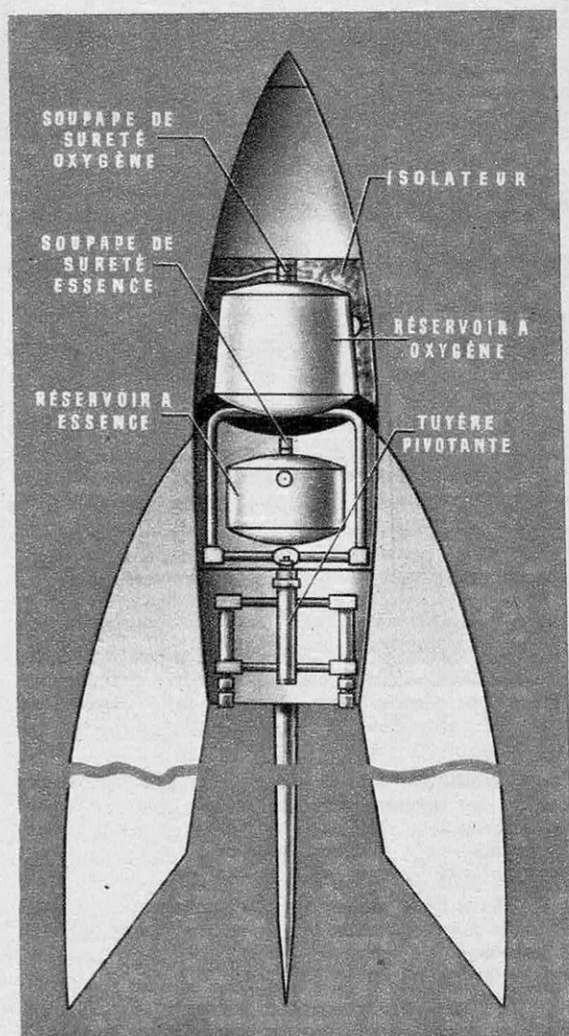
nique et fit des démonstrations en Angleterre et en Ecosse, qui ne furent suivies d'aucune tentative d'exploitation. En Allemagne, une publicité tapageuse fut faite autour d'une de ses tentatives malheureuse. Il avait construit une gigantesque fusée à poudre, dont la charge principale se composait de douze cartouches, quatre propulsives (à l'arrière) et huit tractives placées de part et d'autre du corps sur des plans sustentateurs. Les essais eurent lieu près

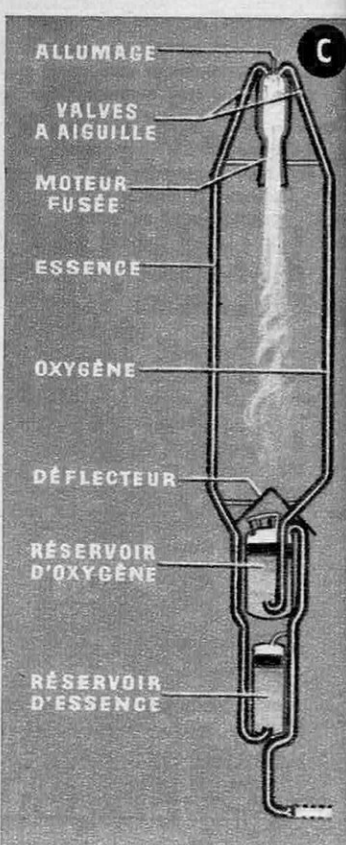
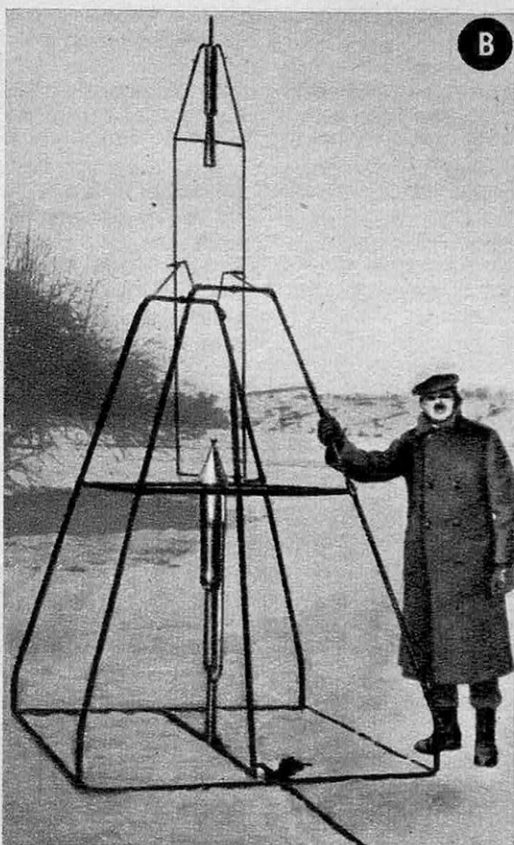
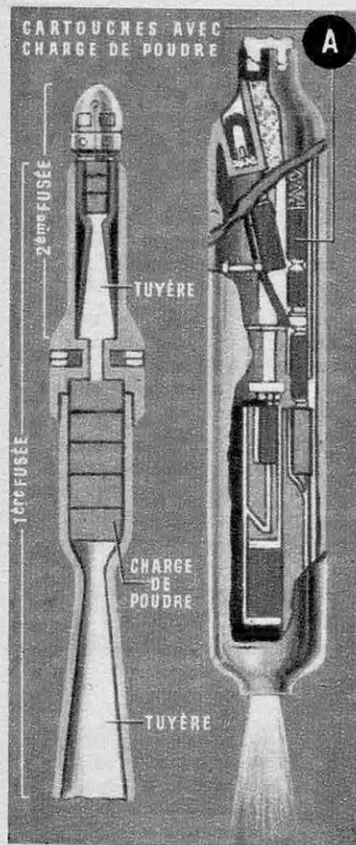
La fusée de Razoumow-Stern (essence et oxygène liquide) bat le record d'altitude de l'époque en s'élevant à 10 km. Elle possédait outre son dispositif de stabilisation aérodynamique (dérives) une tuyère tournante qui se comportait comme un stabilisateur gyroscopique.

de Cuxhaven, mais après être montée seulement à 50 m, la fusée explosa et tomba à la mer.

Beaucoup plus sérieux et plus utiles, car il faut y voir l'origine de la V-2, furent les travaux entrepris par des groupements de chercheurs enthousiasmés par les problèmes astronautiques, dont le plus actif fut le « Verein für Raumschiffahrt » (Association pour l'Astronautique) qui se constitua à Berlin en 1929. Oberth, Engel, Nebel, Riedel, von Braun, Willy Ley en furent les principaux animateurs. Ils équipèrent à Reinickendorf un centre de recherches sur les fusées et dès l'origine, suivant les suggestions d'Oberth, résolurent d'appliquer leurs travaux uniquement aux fusées à liquides. Prenant logiquement la suite des expériences de 1929, ils jetèrent leur dévolu sur le mélange essence-oxygène liquide et étudièrent la nature des matériaux les plus qualifiés pour constituer les éléments du moteur-fusée.

Les premières tentatives furent décourageantes : les tuyères se révélèrent incapables de supporter sans se fendiller des poussées supérieures à 2,5 kg; l'ensemble de l'appareil se consumait dès que la température dépassait





● L'Américain Goddard dont les travaux s'échelonnent de 1909 à 1935 fut un des pionniers de la propulsion par fusées aux Etats-Unis. Il expérimenta d'abord des fusées propulsées

par de la poudre (coupes A). En 1926, à Auburn, il essaya avec succès une première fusée à liquides, brûlant un mélange d'essence et d'oxygène liquide (B et C). En 1935,

2000°. Enfin, on parvint à grand-peine à construire un moteur qui fonctionna durant 100 secondes sous une poussée de 7,5 kg.

Un programme d'études méthodiques fut établi. Pour des raisons d'économie, on construisit des fusées ayant les plus petites dimensions possibles. On les baptisa « Mirak » (**M**inimum-**R**akete ou fusées minimum). Un certain nombre de fusées de ce genre furent construites.

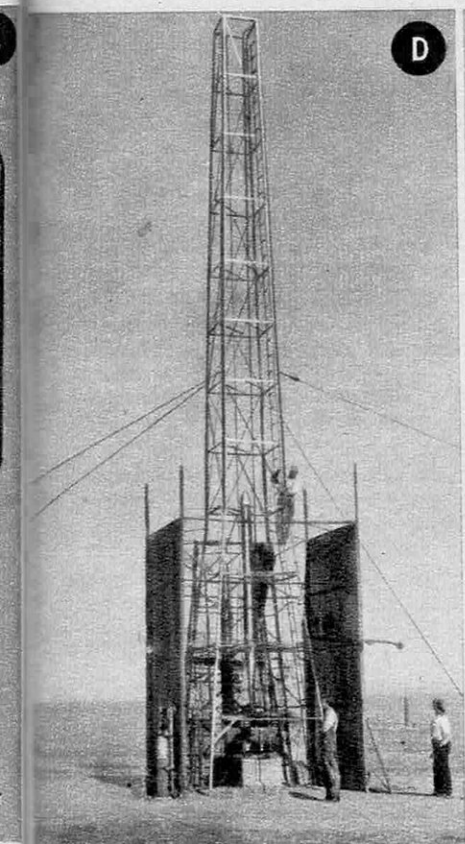
Les particularités de la « Mirak 1 » étaient les suivantes. Construite en aluminium, elle pouvait contenir un litre d'oxygène liquide et un demi-litre d'essence. La chambre de combustion, en fonte, était noyée dans l'oxygène liquide, afin d'éviter qu'elle fût portée à une température trop élevée. L'oxygène arrivait dans la chambre sous l'effet de sa propre évaporation, et l'essence était chassée de son réservoir par du gaz carbonique sous pression contenu dans un réservoir tubulaire disposé sur le côté de la fusée.

La première expérience démontra qu'il était inutile de placer la chambre de combustion à l'intérieur du réservoir à oxygène, car ce dernier s'échauffait trop et la chambre ne se refroidissait pas assez. En outre, il convenait de remplacer la chambre conique par une chambre

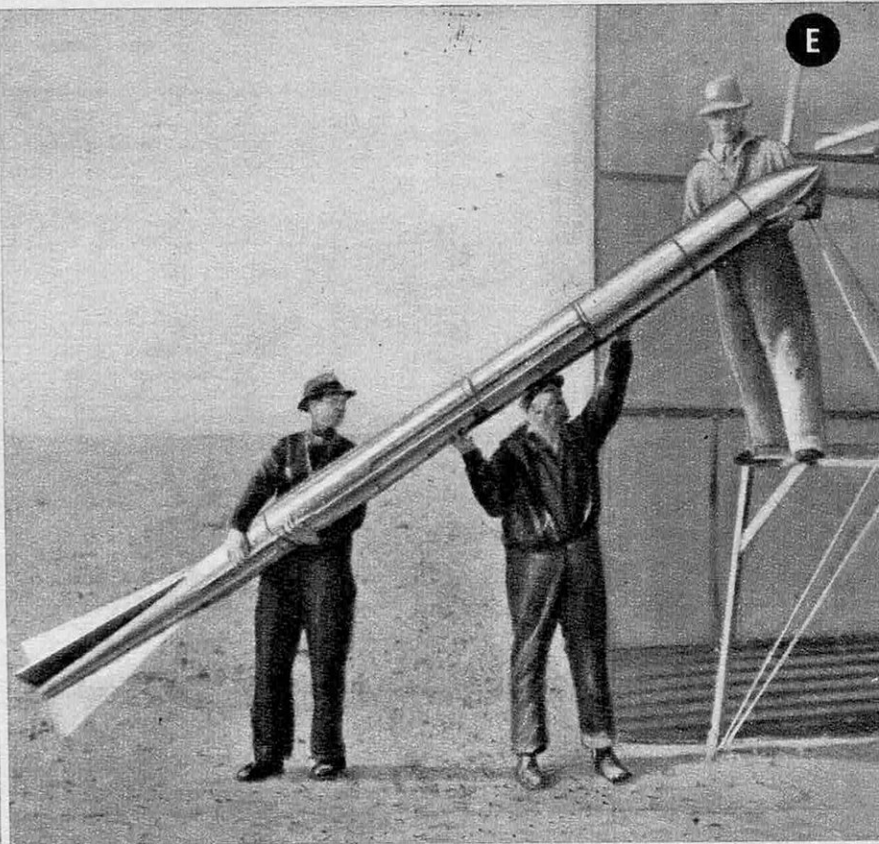
cylindrique, plus propice, semblait-il, à l'évacuation des produits de la combustion. Enfin, on entreprit l'étude des moyens propres à assurer l'homogénéité des mélanges et de provoquer leur allumage.

Dans les autres modèles, la chambre de combustion fut faite en acier et comporta un revêtement en céramique. Malheureusement, son manque de solidité fit échouer les tentatives. Le troisième modèle, bénéficiant des résultats obtenus, comporta de profondes modifications. La chambre de combustion était indépendante du réservoir à oxygène. De forme ovoïde, elle était en duralumin avec un revêtement de cuivre; son épaisseur totale était de 17 mm. L'essence et l'azote sous pression (à la place du gaz carbonique) étaient répartis dans deux réservoirs disposés symétriquement de part et d'autre de la fusée. La poussée fournie s'élevait à 10 kg et l'altitude théorique devait être de 3 km.

Encouragé par ces premiers résultats, l'ingénieur Nebel construisit et essaya en vol des fusées du type « Repulsor », c'est-à-dire dont la chambre de combustion et les tuyères d'éjection étaient logées sur l'avant de la fusée. On pensait ainsi, à tort, obtenir une meilleure stabilité sur la trajectoire. Elles comportaient



D



E

au cours de ses dernières expériences effectuées dans le désert du Nouveau Mexique, il utilisait une fusée de 3 m de longueur dotée d'un dispositif de stabilisation automa-

tique sur sa trajectoire (E). La tour de lancement qui fut construite pour ces essais atteignait une hauteur de 18 m (D). On voit à droite la mise en place de l'engin à la base de la tour.

quatre réservoirs tubulaires en magnésium capables de résister à une pression de 300 kg/cm², maintenus à distance les uns des autres par des tiges métalliques; une chambre de combustion, coiffée d'un réservoir rempli d'eau, surmontait l'ensemble. Après plusieurs tentatives, dont certaines assez décevantes, un Repulsor de 70 kg (le plus grand qu'on ait réalisé) atteignit 1 500 m d'altitude (14 mai 1931).

Par la suite, Nebel essaya d'autres fusées du type « tractif », de forme tubulaire, dont certaines atteignaient près de 2,5 m de long.

Parallèlement aux expériences de la Raketensflugplatz, auxquelles le gouvernement du III^e Reich apportait une attention de plus en plus intéressée, Winckler réalisa et expérimenta une fusée de 50 kg. Elle utilisait l'oxygène et le méthane. Une explosion dont la cause est restée inconnue se produisit alors que la fusée était à 15 mètres d'altitude, et mit un point final aux études de Winckler.

Les expériences de la « Raketensflugplatz » avaient débuté dans une atmosphère d'amateurisme. Elles se terminèrent dans le plus grand secret, à la demande des militaires, et se poursuivirent dans les immenses laboratoires de Peenemünde d'où devait sortir la V-2.

AUTRES PAYS

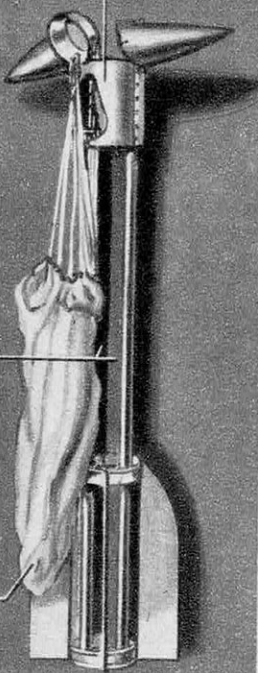
Comme nous venons de le voir, c'est en Allemagne que les recherches sur les fusées prirent le plus d'extension avant la deuxième guerre mondiale et fournirent les résultats les plus intéressants sur le plan pratique. Cela ne veut pas dire qu'on ne s'y intéressât pas dans les autres pays, mais les travaux manquèrent de coordination et de continuité.

En France, Robert Esnault-Pelterie, prenant pour base de ses recherches les données théoriques qu'il avait exposées quelques années auparavant, envisagea en 1931 l'emploi de fusées à oxygène liquide, puis à tétranitrométhane liquide à la température ordinaire. Au cours d'un essai effectué sans un outillage suffisant, il a quatre doigts de la main gauche arrachés par le tétranitrométhane. Avec un courage et une persévérance dignes d'éloges, il reprend alors l'oxygène liquide en cherchant d'abord à obtenir un dosage exact des réactifs en les refoulant par une pompe. Mais la construction de la pompe se révèle trop délicate. Esnault-Pelterie envisage alors l'emploi d'un « doseur vibrant ». Un modèle d'essai fut construit et vibra du premier coup conformément aux calculs, bien que réalisé de façon rudimentaire.

CHAMBRE DE
COMBUSTION

RÉSERVOIRS
TUBULAIRES

1
PARACHUTE



En 1932, l'ingénieur Louis Damblanc reprit à son tour les recherches sur les fusées à poudre, se fixant un programme d'étude méthodique qu'il réalisa point par point dans les années suivantes. Ce programme comprenait la fabrication de poudres spéciales, l'étude de matériaux légers et résistants, celles de fusées composites et des trajectoires. Le 6 mars 1932, à l'Institut Aérotechnique de Saint-Cyr, Louis Damblanc procéda aux premiers essais au point fixe sur des fusées contenant des charges de poudre variant de 375 g à 4 kg. La plupart des expériences furent enregistrées sur film sonore.

En Italie, G. A. Crocco, après de nombreuses études théoriques, réalisa des fusées qu'il soumit méthodiquement à l'expérience. D'intéressants résultats furent obtenus en 1927 avec des charges tubulaires de poudre colloïdale. Quelque deux ans plus tard, l'Etat-Major, jugeant que de bien meilleurs résultats pourraient être obtenus avec des mélanges liquides, encouragea G. A. Crocco, C. Landi et Riccardo M. Corelli à exercer leur activité dans cette nouvelle voie. En dépit des premiers essais fort encourageants, effectués sur le mélange essence-acide nitrique concentré, essais au cours desquels, sous 10 atmosphères, la poussée fut de 140 kg durant 10 minutes, les recherches furent suspendues vers la fin de 1930. Néanmoins, jusqu'en 1933, quelques tentatives timides eurent encore lieu sur la trinitroglycérine et le méthanol.

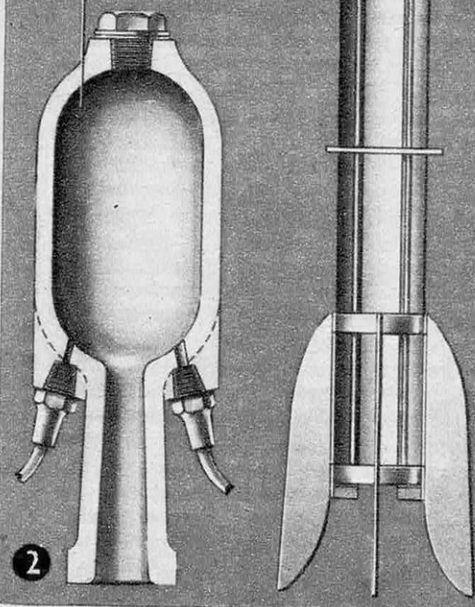
INSPIRÉE DE LA TECHNIQUE ALLEMANDE, LA TECHNIQUE AMÉRICAINE DES FUSÉES SE

VENTURI

ROBINETS

CHAMBRE DE
COMBUSTION

RÉSERVOIRS
TUBULAIRES



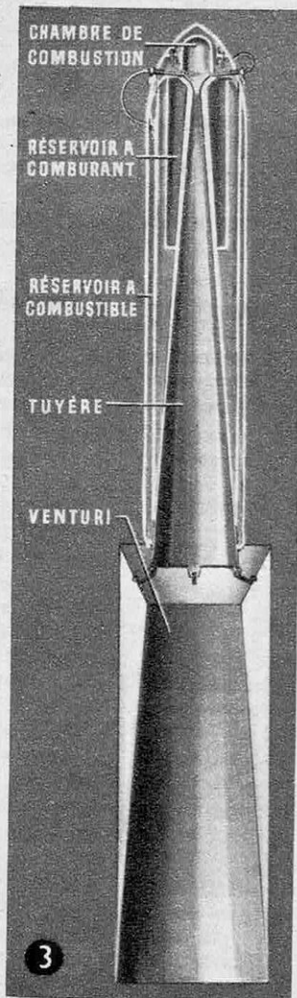
CHAMBRE DE
COMBUSTION

RÉSERVOIR A
COMBURANT

RÉSERVOIR A
COMBUSTIBLE

TUYÈRE

VENTURI



1 L'Américain Pendray ayant eu l'occasion d'assister aux expériences allemandes de la Raketentflugplatz a voulu, dès son retour aux Etats-Unis, recommencer les mêmes travaux, et son premier modèle de fusée s'inspira tout naturellement de celui de Nebel. C'était un « Repulsor » composé de deux réservoirs tubulaires de 50 mm de diamètre et de 1,80 m de longueur contenant respectivement l'oxygène et l'essence. Une double paroi remplie d'eau refroidissait la chambre de combustion.

2 Bernard Smith, poursuivant les expériences de Pendray construisait une fusée tractive qui représentait à beaucoup d'égards un progrès technique considérable par rapport à la première. Mais il a eu le tort de supprimer le refroidissement à eau de la chambre de combustion, et au premier essai, qui eut lieu le 14 mai 1933 à Marine Park, Staten Island, la fusée incurva brusquement sa trajectoire après avoir franchi quelques dizaines de mètres, et explosa.

3 Une autre fusée fut achevée vers la fin de 1933. Construite en aluminium, elle était longue de 1,65 m et son poids à vide était de 9 kg. La chambre de combustion se trouvait dans la partie antérieure et la tuyère traversait la fusée dans toute sa longueur. Les réservoirs d'essence et d'oxygène liquide entouraient cette tuyère, que l'oxygène liquide refroidissait énergiquement. La fusée aurait dû atteindre une altitude de 8 000 m, mais on n'a pas fait connaître les résultats de ses essais.

En juillet 1934, on lança avec succès la fusée postale « Italia I ».

En Russie, de nombreux chercheurs s'étaient depuis longtemps intéressés à la propulsion par réaction. Nous avons déjà montré l'importance des travaux de Tziolkowsky. On peut rappeler aussi qu'en 1915 le général Pomertzeff avait préconisé un projectile-fusée que devait lancer un mortier de tranchées et qui portait un anneau stabilisateur en face des tuyères d'éjection. Développant cette idée, le célèbre aérodynamicien D. P. Riabouchinsky réalisa une véritable anticipation du « bazooka ».

Un « Institut des Etudes expérimentales du moteur réactif » fut créé à Moscou en 1934. Il construisit et expérimenta des fusées à combustible liquide, dont l'une atteignit l'altitude de 10 km. La même année, Razoumov construisit une fusée-sonde.

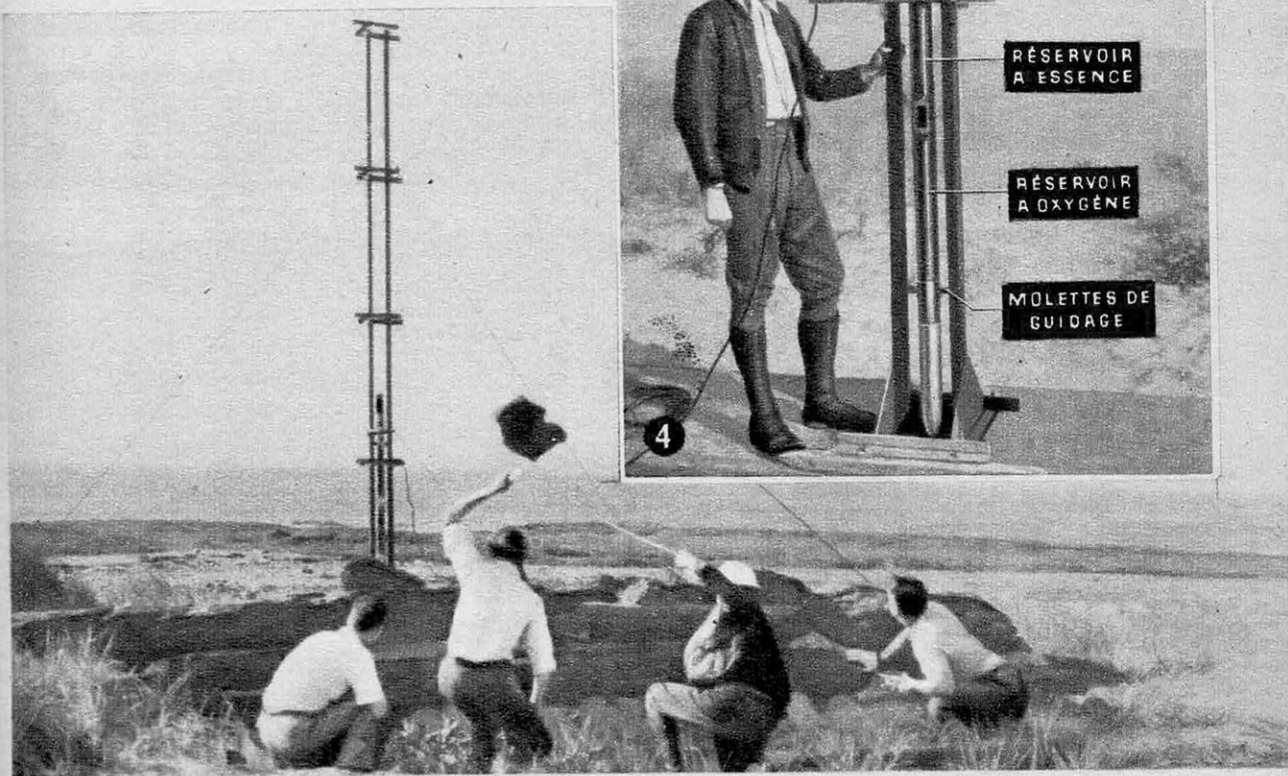
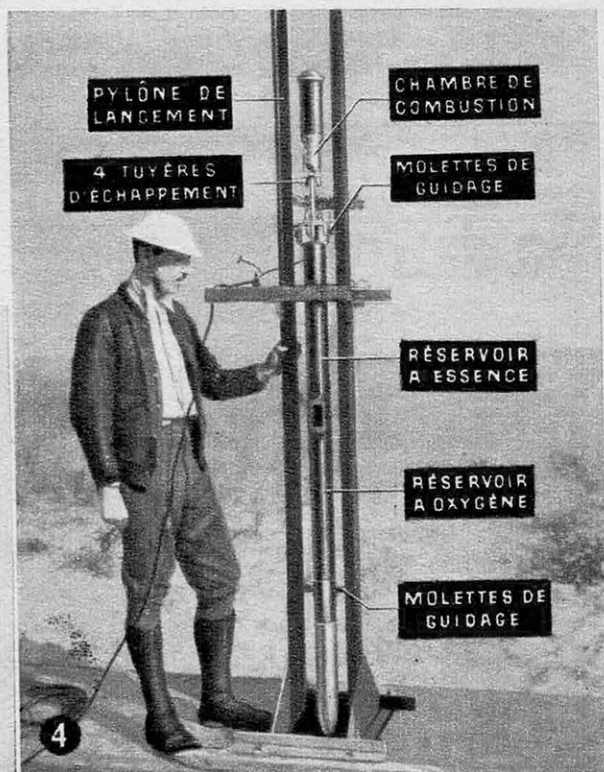
Au Danemark, en Australie, aux Indes, en Tchécoslovaquie, on assiste pendant cette période au lancement de fusées, la plupart du temps à poudre.

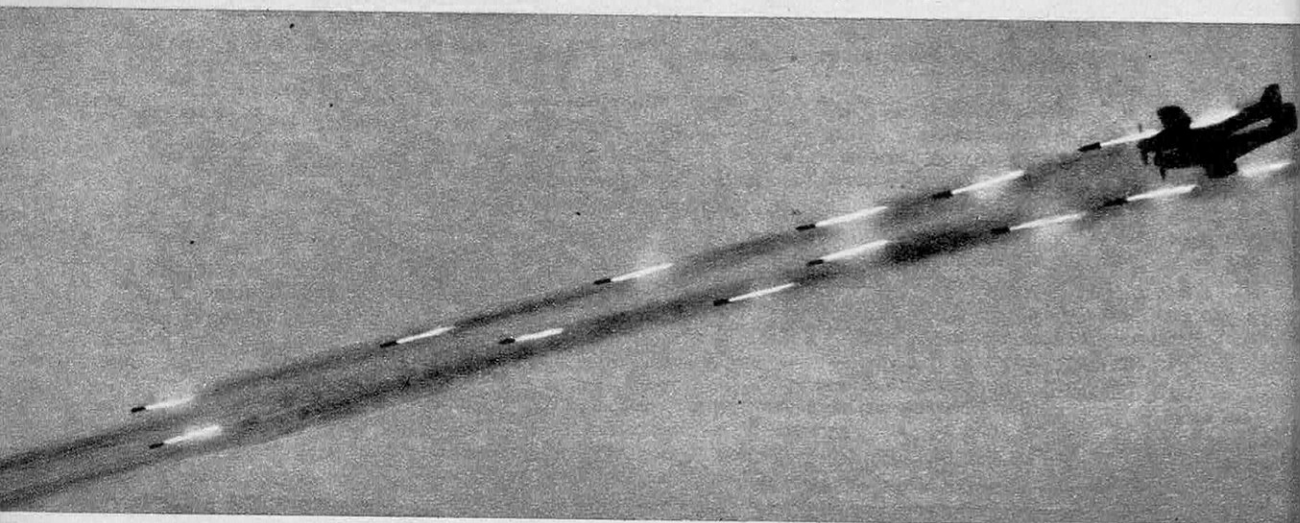
Eugen Sänger effectuée en Autriche, dans son laboratoire personnel, des expériences sur quatorze moteurs à réaction. Le mélange choisi est l'oxygène et un hydrocarbure. La poussée de ces propulseurs de taille réduite ne dépasse jamais 30 kg et leur poids 500 grammes. Certains essais durent plus d'une demi-heure. Rappelons que Sänger pensait pouvoir employer ses moteurs pour l'aviation; aussi présente-t-il, en 1936, un projet de réacteur pouvant supporter une poussée de plus de 500 kg ainsi qu'un modèle d'avion capable, d'après ses calculs, de parvenir à 1 000 km/h et à une altitude de 15 à 20 km.

En Grande-Bretagne, les recherches sur les combustibles liquides ne purent se développer par suite des règlements de police qui, d'après une loi de 1875, interdisaient la manipulation d'explosifs. Quelques rares travaux portèrent cependant sur les combustibles liquides. Les plus importants, pratiquement, concernèrent les combustibles solides tels que la cordite et, grâce à A. D. Grow, du War Office, des projec-

E DÉVELOPPE DE FAÇON INDÉPENDANTE

4 Une autre fusée dont la section réduite devait faciliter la pénétration dans l'air fut construite par Arhens, Manhing, Best et Shesta. Elle était du type tractif, les gaz quittant la chambre de combustion par quatre petites tuyères. Elle fut lancée en 1934 à Staten Island. Elle parcourut une centaine de mètres, puis explosa par suite de la rupture d'une de ses quatre tuyères. Ci-dessous, les assistants, après s'être mis à l'abri, donnent le signal de lancement de la fusée.





● Les fusées lancées d'avion, inventées pendant la première guerre mondiale, furent reprises en U. R. S. S. pour l'attaque des chars par les « Stormovik ». On voit

ici un chasseur américain lançant une salve de ces fusées qui permettent des concentrations puissantes et précises sur tous les objectifs : terrestres, navals et aériens.

tilles-fusées purent être mis au point. Les premiers lancements eurent lieu à la Jamaïque quelques mois avant la guerre. Les fusées avaient 1,20 m de long et 7,5 cm de diamètre. On les lançait par salves de 6. Leur portée était supérieure à l'altitude de vol des avions de cette époque. Elles rendirent des services inespérés lors de l'attaque des Iles Britanniques par l'aviation allemande.

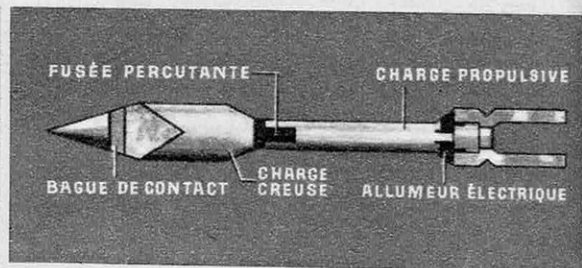
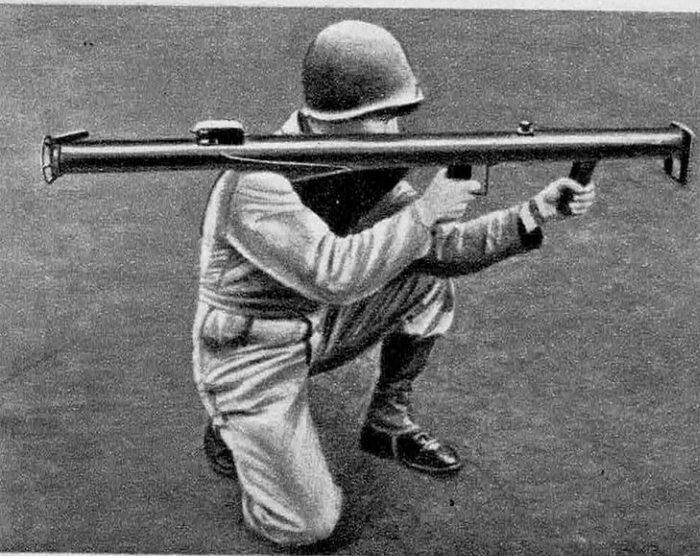
LA DEUXIÈME GUERRE MONDIALE

Tous les belligérants ont utilisé les fusées au cours de la dernière guerre mondiale et on a pu voir éclore en l'espace de quelques années une extraordinaire floraison d'engins d'une extrême diversité de formes, de dimensions et de charges suivant leur destination. Les forces américaines, pour leur seule part, ont tiré des

millions de fusées. A l'aube du jour où les Japonais attaquèrent Pearl Harbour, ni l'Armée, ni la Marine américaines ne possédaient une seule fusée; le jour de la capitulation japonaise, l'Armée américaine prévoyait d'en faire fabriquer pour 150 millions de dollars par an, et 1 200 usines travaillaient aux fusées de la Marine, dont le programme était encore huit fois plus considérable.

Il s'agissait essentiellement de fusées à combustibles solides, où la poudre était le plus souvent remplacée par la cordite ou la balistite. La stabilité de la trajectoire était assurée soit par des ailettes fixées au corps, soit par rotation de la fusée sur elle-même.

Dès l'automne 1940, les fusées antiaériennes lancées par les Anglais contre les formations aériennes allemandes démontrèrent leur efficacité. N'exigeant qu'un matériel de lancement léger — au début simples rails ou tubes métal-



Pendant la guerre du Pacifique, les Américains utilisèrent des navires armés d'un grand nombre de lance-fusées pour la protection des débarquements. Les troupes terrestres étaient dotées de lance-fusée à affûts multiples, analogues aux « orgues de Staline », et qui étaient montés sur des jeeps ou des chars.

liques, plus tard châssis perfectionnés sous le nom de « canons Z » — susceptibles d'être tirées simultanément en grand nombre, elles étaient considérées par certains comme l'engin de D.C.A. idéal.

Mais la fusée allait trouver rapidement bien d'autres applications.

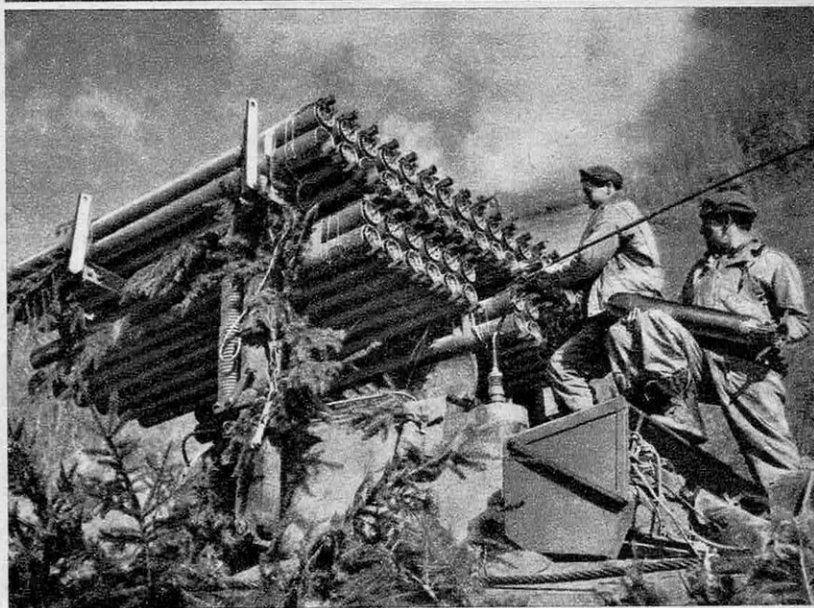
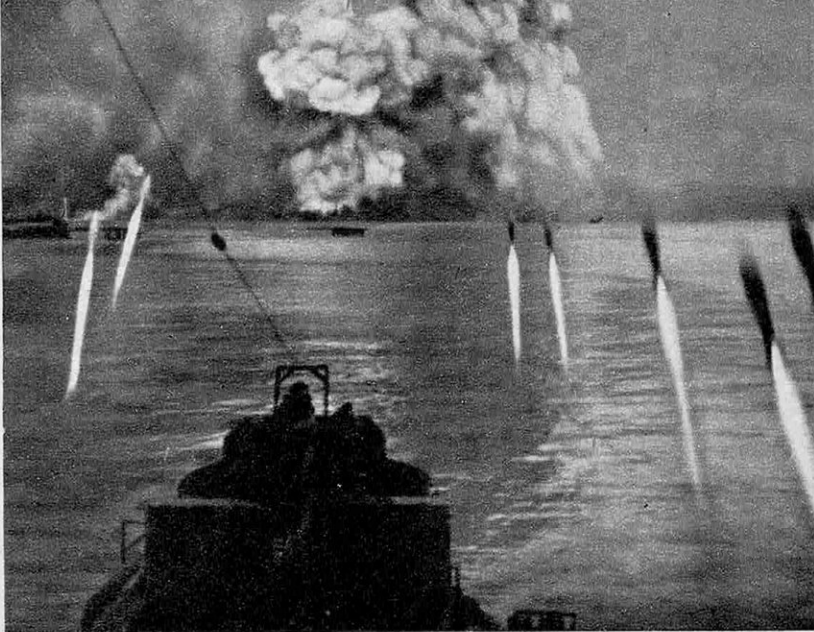
Ce sont les Russes qui, les premiers, en novembre 1941 ont utilisé les fusées pour l'attaque des blindés allemands par des avions en piqué ou semi-piqué. Disposés sous les ailes des « Stormovik », les obus-fusées présentaient d'avantage d'une grande précision, due au fait que la vitesse initiale communiquée par l'avion donnait une trajectoire très tendue, et celui d'une puissance de perforation jusque-là jamais atteinte.

Au début de 1942, les Allemands jettent à leur tour dans la bataille des avions « lance-fusées », notamment contre les défenses de Malte, puis en juin 1942 contre les convois alliés.

Dès les premiers mois de 1943, les Russes inaugurent pour la défense de Moscou et de Stalingrad une arme nouvelle, la « Katuschka », fusée cylindro-conique propulsée par de la poudre noire, longue de 93 cm et pesant 25 kg. Le lancement s'effectuait à l'aide soit d'affûts fichés en terre, soit de pièces spéciales montées sur roues. Plus tard, les tubes, au nombre de 42, placés par rangées superposées pour le tir par salves, prirent le nom d'« orgues de Staline ». Les fusées russes, utilisées surtout contre les colonnes d'attaque et les formations blindées, s'affirmèrent particulièrement meurtrières. Leur portée atteignait 8 000 mètres.

De leur côté, les Allemands employèrent la même année le « Nebelwerfer », affût de canon antichar de 37 mm muni de six tubes « lance-fusées » en tôle d'acier ordinaire, disposés soit

Le bazooka était un tube très léger pouvant être épaulé comme un fusil et qui lançait cependant un projectile-fusée capable de détruire un char. Le tube étant ouvert aux deux extrémités n'encaissait aucun recul, et la fusée brûlait toute sa charge propulsive (ballistite) dans le tube. La grande puissance de perforation du projectile était obtenue grâce à l'emploi d'une charge creuse.



en hexagone autour d'un cylindre central — assez semblable au barillet d'un revolver — soit en deux rangs superposés de trois tubes chacun.

Les projectiles, fumigènes, incendiaires ou explosifs selon le résultat souhaité, pesaient environ 25 kg avec une portée de 6 500 mètres. Ils étaient introduits par l'arrière et enflammés électriquement. La puissance de feu était analogue à celle de six obusiers lourds, dont chacun eût pesé six tonnes. Or, le lance-fusées allemand, dont le poids était d'environ 500 kg, possédait une maniabilité et une mobilité extrêmes qui, dans bien des occasions, lui permirent d'appuyer les divisions motorisées.

Les succès remportés par les premiers obus-fusées lancés par des avions amenèrent à les perfectionner. Les avions lanceurs ont été munis de huit rails de lancement (quatre sous chaque aile). Le tir, dirigé en particulier contre

les sous-marins, les navires, voire les bombardiers, peut s'effectuer soit par deux fusées à la fois, soit par salve totale. Dans ce dernier cas, la puissance de feu équivalait à celle d'un canon de marine.

Le « bazooka », aussi terrible par ses effets que simple dans sa conception, et qui devait faire de chaque fantassin un artilleur, fut utilisé pour la première fois par les Américains en mars 1943 en Afrique du Nord. Equipée d'une charge creuse, la fusée qu'il lançait était déjà capable de traverser des blindages de 10 cm à 200 m de distance. Le tube de guidage ne pesait que 6 kg et pouvait reposer sur l'épaule du tireur. La mise à feu était électrique grâce à une petite batterie.

Puis apparurent les « Luftfaust », composés de 9 tubes de 1,30 m de long, pouvant également se placer individuellement sur l'épaule et susceptibles de projeter par salves des fusées stabilisées par rotation.

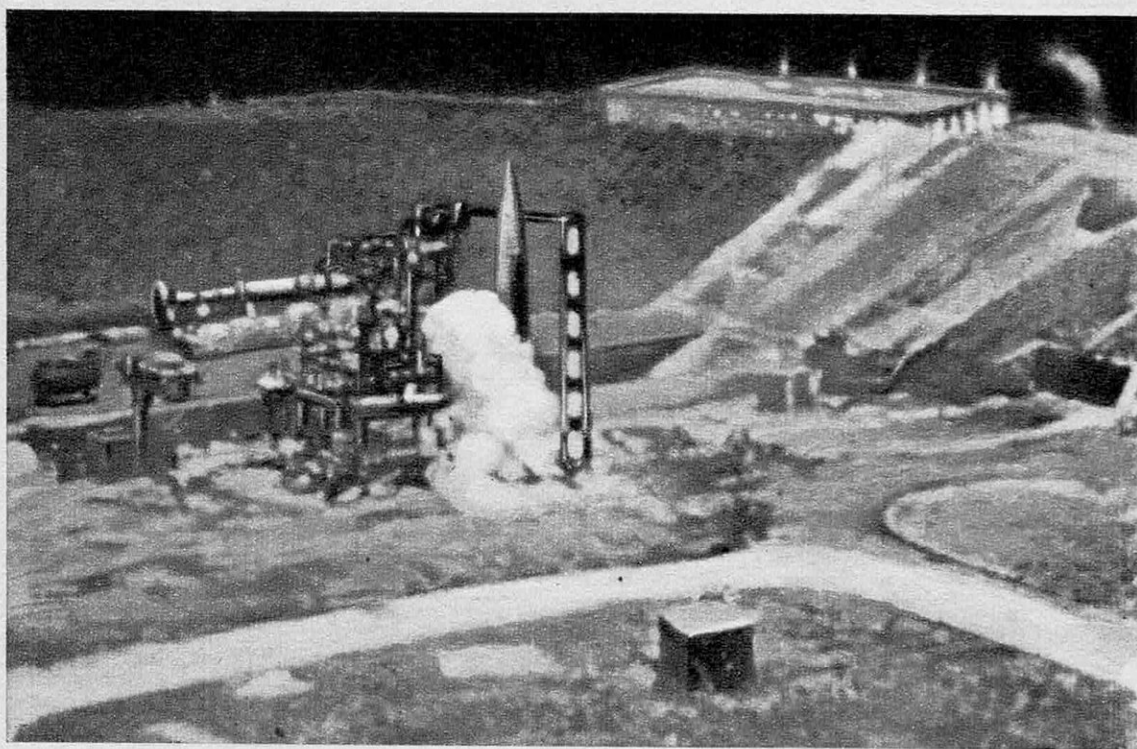
En août 1944, lors du débarquement des troupes alliées en France et aussi dans les combats du Pacifique, les fusées de marine jouèrent un très grand rôle. Presque tous les navires américains étaient dotés de fusées de divers calibres, susceptibles d'être lancées sous tous les angles et dans toutes les directions par salves massives. Pour se préserver des dégagements de gaz, le personnel chargé de l'allumage devait porter, outre le masque à gaz, un vêtement en amiante. Les derniers perfectionnements de lancement supprimèrent d'ail-

leurs la fumée par un dispositif d'aspiration. Les fusées américaines, longues d'environ 80 cm, pesaient 19 kg et pouvaient, avec une charge d'un peu plus de 2 kg de balistite, atteindre des portées de 4 000 à 4 700 m.

Rappelons encore les fusées M.F. 5 qu'on devait utiliser de l'intérieur de sous-marins et les K.A.N.-1 (« Little Joe ») employées dans les combats du Pacifique contre les avions-suicide japonais.

Enfin, les Allemands ont utilisé non seulement des fusées simples à combustibles solides, de faible portée, mais aussi des fusées composées telles la « Rheinbote » dont la portée pouvait varier, suivant le modèle, de 50 à 250 km. Le type le plus courant comportait 2 étages, d'autres 3 ou même 4. La séparation des éléments se faisait sous la pression des gaz de combustion de l'élément suivant, qui entraînait le cisaillement des goupilles de fixation. La longueur totale au moment du lancement de la fusée à 4 étages était de 11 m pour un diamètre n'excédant pas 20 cm.

Les véritables innovations dans le domaine des engins autopropulsés consistent dans la mise au point de propulseurs à combustibles liquides. A la fin de la guerre, quelques-uns des engins à « propergols » liquides, selon la nouvelle terminologie, avaient été mis en œuvre. Le plus célèbre est la V-2 allemande, sur laquelle nous reviendrons. Un beaucoup plus grand nombre était en expérimentation ou en projet. Il ne saurait être question ici de les décrire



● Voici un des rares documents photographiques de la station allemande de Peenemünde où, à partir de 1934, les chercheurs allemands, sous la direction de Wernher von Braun, poursuivirent secrètement leurs recherches

sur les fusées de guerre. C'est là que furent étudiés tous les engins spéciaux et où s'effectuèrent, malgré les bombardements anglais, la mise au point de la V-2. On voit ici, durant les essais, le lancement d'une de ces fusées.

tous en détail, et nous nous bornerons à les énumérer brièvement, du moins les plus intéressants.

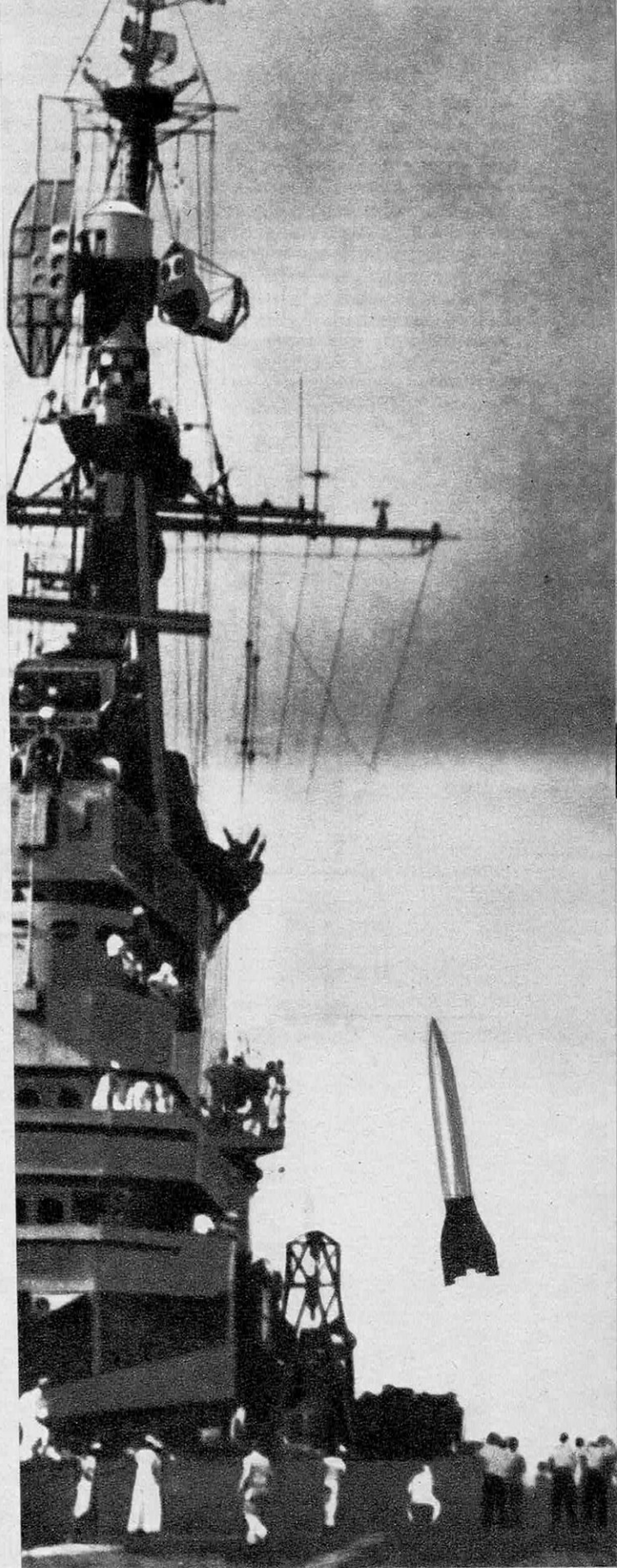
Le « Schmetterling » ou Henschel 117 était un projectile téléguidé terre-air (c'est-à-dire lancé du sol contre des objectifs aériens; de la même manière on qualifie des engins de air-air, air-mer, etc.). Il avait un fuselage cylindrique et un empennage cruciforme. Son poids total, avec les fusées auxiliaires de lancement (à combustible solide) était de 4,35 kg. Le propulseur principal était alimenté en acide nitrique et en un mélange d'hydrocarbures, l'allumage étant obtenu spontanément par injection de furfurole. L'engin avait un plafond de 15 000 m, une portée de 32 km et atteignait une vitesse voisine de 1 000 km/h.

La « Wasserfall », autre projectile terre-air, de 8,5 m de long sur 1 m de diamètre, utilisait de l'acide nitrique et de l'éther vinylique ou du simple gasoil envoyés au moteur par de l'azote sous pression. Il emportait une centaine de kilogrammes d'explosif et était dirigé, comme la V-2, par des volets déflecteurs placés dans le jet d'achappement. Il devait monter à 10 000 m et porter à 32 km. Il devait être équipé d'un dispositif acoustique d'autoguidage et d'une fusée de proximité.

La « Rheintochter », autre fusée d'interception, en resta elle aussi au stade des essais. Il en existait trois variantes. Lancée sur une rampe à l'aide d'une fusée auxiliaire à poudre, elle était guidée du sol d'où on la suivait par radar et possédait une fusée de proximité. Elle pouvait atteindre 9 000 m. Elle était nettement supersonique, sa vitesse pouvant atteindre 1 500 km/h.

L'« Enzian » était un autre projectile terre-air, rappelant un avion sans queue à aile en flèche, dont les plus récents modèles utilisaient l'acide nitrique et l'essence envoyés au moteur par de l'azote sous pression. Il était lancé sur un plan incliné au moyen de quatre fusées auxiliaires mues par de la poudre et possédait un dispositif d'autoguidage avec fusée de proximité. Il ne dépassa pas le stade des essais.

On pourrait citer encore le « Taifun », utilisant l'acide nitrique et un composé à base d'aniline, destiné à établir des barrages antiaériens, et le Bachem « Natter » opérant avec de l'eau oxygénée et qui devait être lancé verticalement par des fusées auxiliaires et atteindre 15 000 m. Il était prévu que le pilote de ce dernier engin, car il devait



Des expériences de lancement de fusées → V-2 radio-guidées ont été effectuées par la Marine américaine il y a quelques années. On voit ici une V-2 quittant le pont du porte-avions Midway.

emporter un pilote en chair et en os, sauterait en parachute après avoir accompli sa mission. Les plans avaient été communiqués aux Japonais qui avaient commencé la construction de plusieurs de ces appareils qui furent trouvés en cours de montage après l'armistice, mais aucun d'eux ne fut effectivement employé.

Parmi les projectiles étudiés par les Alliés, nous citerons seulement la fusée américaine « Tiamat », étudiée à partir de 1944, à deux étages, empennage en flèche, destinée uniquement à l'expérimentation, la « Gorgon » et la « Gargoyle » de la Marine.

LA V-2 ET LES FUSÉES IONOSPHERIQUES

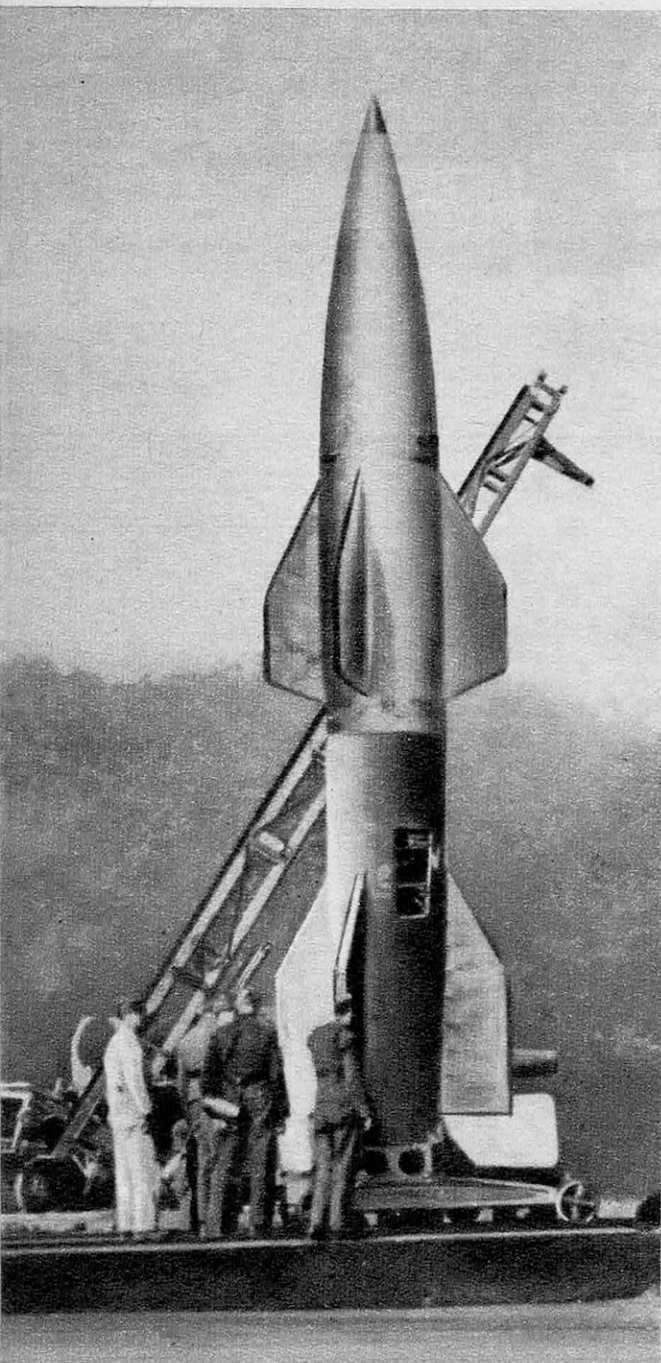
Nous avons gardé pour la fin le plus intéressant des engins réalisés pendant la guerre, la V-2 allemande, et les engins ionosphériques qui en ont été plus ou moins inspirés depuis la fin des hostilités.

La V-2 représente l'aboutissement direct des recherches allemandes d'avant la guerre. À sa réalisation s'attachent les noms du général Karl Becker, éminent spécialiste de la balistique, du colonel Dornberger qui dirigea le centre de Peenemünde, sur la Baltique, et de Wernher von Braun, ancien membre du « Verein für Raumschiffahrt ». C'est en 1935, sur un rapport de l'Etat-Major allemand au Führer, que fut prise la décision de créer à Peenemünde un centre d'études où serait poussé activement le projet. Plus de 300 millions de marks furent investis pour la construction des premiers bâtiments indispensables au commencement des travaux. Toute une série de projectiles, A-1, A-2, etc., furent successivement réalisés et essayés, suivant les idées générales préconisées par Oberth qui, appelé sur le tard à coopérer, ne joua dans la mise au point effective qu'un rôle effacé. On sait que le combustible choisi était l'alcool éthylique et le comburant l'oxygène liquide.

Les premiers engins, A-1, A-2, A-3, donnèrent satisfaction, A-1 atteignant 1 900 m et A-3 12 000 m. Par contre A-4, qui devait être la V-2, donna tout d'abord de nombreux déboires. De graves accidents se produisirent; en particulier au cours d'une démonstration devant l'Etat-Major de la Luftwaffe, les trois fusées prévues refusèrent de quitter le sol ou explosèrent prématurément.

Des modifications furent apportées au projet initial, en particulier le système de refroidissement de la chambre de combustion par du combustible injecté le long de ses parois, et le système d'alimentation par pompes centrifuges actionnées par une turbine à vapeur, celle-ci fournie par la réaction du permanganate de calcium sur l'eau oxygénée concentrée.

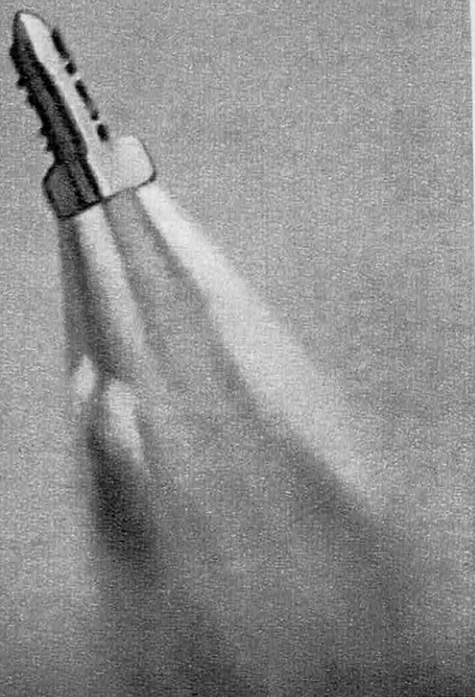
En octobre 1942, la fusée parcourut 270 km et les ordres furent donnés pour la fabrication en série sur une très grande échelle. La seule usine souterraine de Nordhausen en produisit 30 par jour, si bien que deux ans plus tard, l'Allemagne n'en possédait pas moins de 12 000, malgré le bombardement de Peene-



← La fusée Wasserfall que l'on voit ici lors des premiers essais à Peenemünde, avait un plafond théorique de 20 km et une portée atteignant 30 km. Quarante de ces engins furent tirés à titre d'essai; ils devaient servir d'arme anti-aérienne, mais ne furent jamais utilisés.

→ La fusée Schmetterling était lancée sur de courtes glissières orientables grâce à 2 fusées auxiliaires. Cet engin long de 1,80 m fonctionnait avec de l'acide nitrique et un mélange d'hydrocarbures et d'amines permettant d'obtenir une poussée de 3 500 kg pendant 4 secondes.

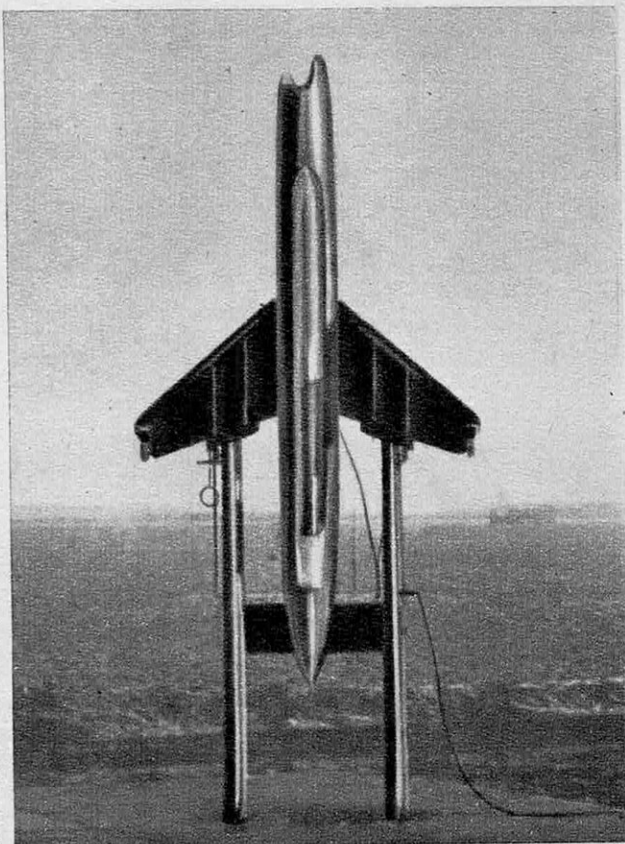
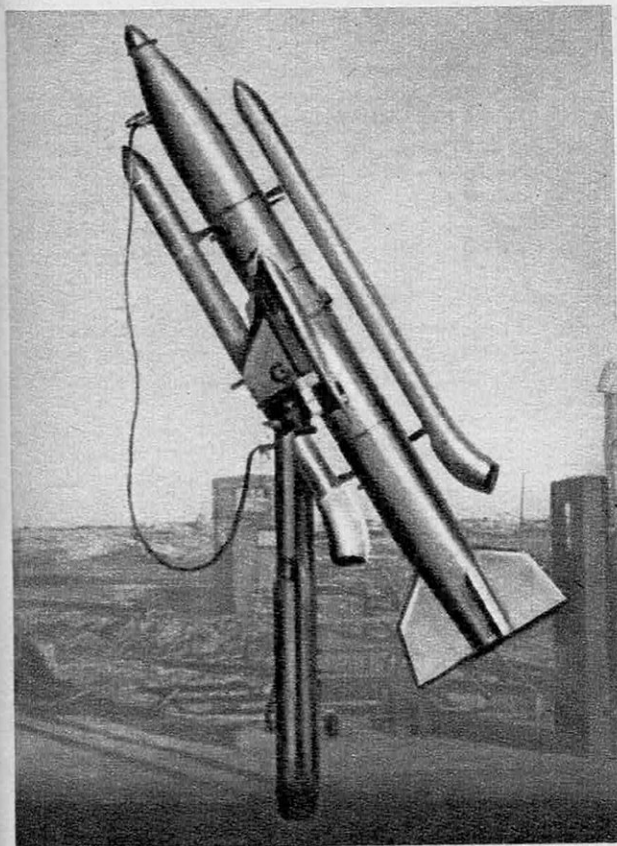
FUSÉES ALLEMANDES

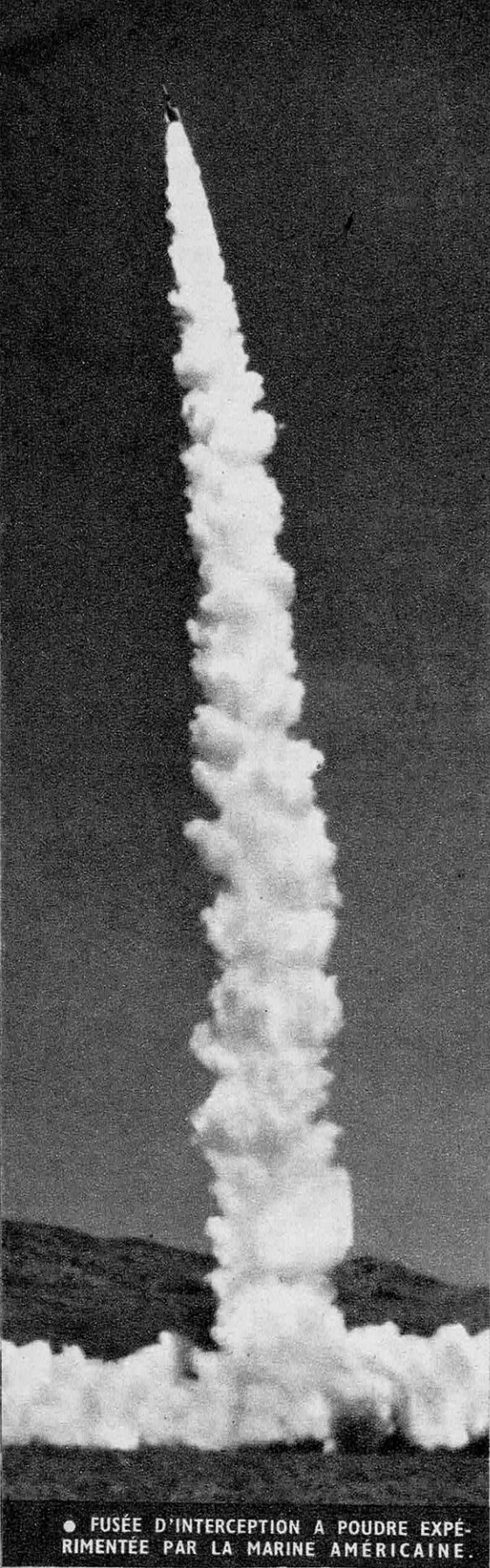


● L'Enzian brûlant un mélange d'hydrate d'hydrazine et d'eau oxygénée s'élevait à 13 km à plus de 1 000 km h.



● La Rheintochter, caractérisée par sa voilure en flèche à 35°, avait une poussée de 3 800 kg pendant 10 s.





münde par la R.A.F. en juillet 1943. Les premières V-2 furent lancées contre Londres le 7 septembre 1944.

La V-2 mesurait 14 m de longueur et 1,70 m de diamètre. Son poids total était de 12,5 tonnes au lancement et elle emportait une charge explosive de 975 kg. La poussée maximum était de 2,3 tonnes par tonne et la durée de la propulsion 70 secondes. Le lancement exigeait un minimum d'installations et les équipes allemandes bien entraînées ne demandaient que 6 heures pour préparer une fusée.

Londres reçut au total 2 000 V-2 et Anvers 1 600.

Parmi les autres projets étudiés à Peenemünde, il faut accorder une mention particulière aux engins A-9 et A-10. La fusée A-9 n'était autre qu'une A-4 (V-2) munie d'ailes en flèche dont on attendait une portée de 480 km. Mais elle devait surtout constituer le second étage d'une fusée composite dont le premier étage A-10 devait peser 87 tonnes et donner une poussée de 200 tonnes pendant 50 secondes. Elle devait utiliser un système d'alimentation par azote comprimé. Ainsi propulsée par l'étage A-10 pendant une partie de son trajet et grâce à la vitesse initiale qu'il lui aurait communiquée, la fusée A-9 devait avoir une portée de 5 600 km. On espérait, depuis l'Allemagne, bombardier l'Amérique.

Depuis la guerre, tant en Amérique qu'en Angleterre, en Australie, en France, et certainement en U.R.S.S., les expériences sur les fusées se sont poursuivies. Particulièrement intéressantes pour l'astronautique sont celles conduites aux Etats-Unis avec les fusées dites « ionosphériques » destinées principalement à l'étude directe de la très haute atmosphère.

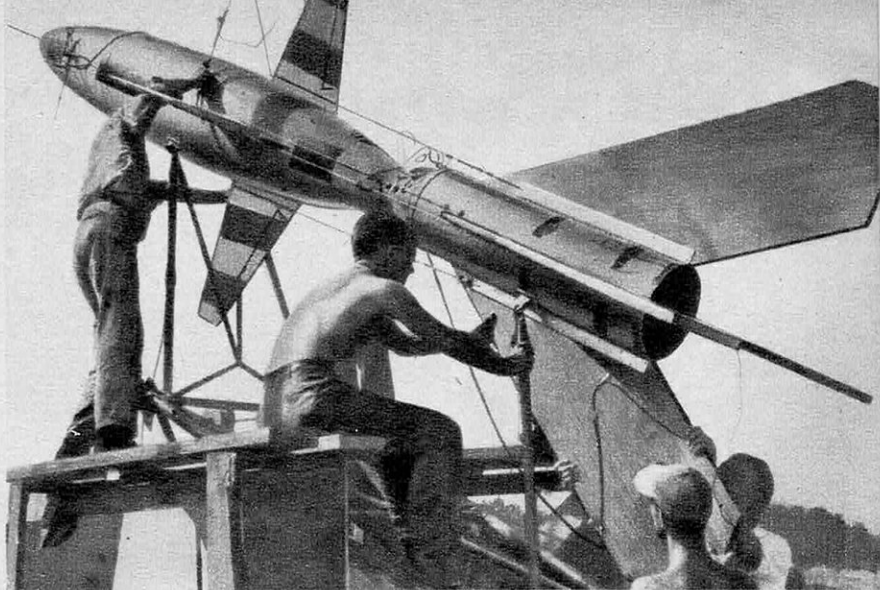
La « Wac-Corporal » dont un modèle réduit fut réalisé en 1945 par la Jet Propulsion Laboratory du California Institute of Technology de Pasadena, en collaboration avec la Douglas Aircraft Co, est une fusée de 4,80 m de long et 30 cm de diamètre. Elle est propulsée par un mélange d'acide nitrique et d'aniline, avec alimentation par air comprimé. Le propulseur développe une poussée de 67 kg pendant 45 secondes. Au lancement, une fusée auxiliaire à combustible solide développe une poussée de 22 tonnes pendant 0,5 seconde ; on utilise une tour de lancement de 30 m de haut. La « Wac-Corporal » peut emporter 11 kg de charge utile à 70 km d'altitude.

En 1946 débutèrent les essais systématiques des V-2 récupérées en Allemagne par l'Armée américaine, dont une centaine furent transportées aux Etats-Unis (les autres sont tombées entre les mains des Russes). Ces engins furent lancés à White Sands, au Nouveau-Mexique, où on atteignit une altitude maximum de 180 km. Rappelons que le 24 février 1949, un engin composite, constitué par une V-2 surmontée d'une « Wac-Corporal », permit à cette dernière de monter à 402 km d'altitude, record qui n'a pas été battu encore.

L'« Aerobee », construite par Von Karman, en collaboration avec l'Aerogjet Corporation, la John Hopkins University et la Marine américaine, est une fusée capable d'emporter une charge utile de 65 kg à 120 km d'altitude. Elle pèse à vide 90 kg et en charge au départ 450 kg. Sa longueur est de 6 m et son diamètre de 38 cm. On en a lancé jusqu'à présent une quarantaine avec succès. Cet engin ne comporte pas de surfaces mobiles pour la correction de sa trajectoire et est lancé dans une tour de lancement par une fusée auxiliaire à combustible solide qui lui commu-

● FUSÉE D'INTERCEPTION A POUVRE EXPÉRIMENTÉE PAR LA MARINE AMÉRICAINE.

D'une longueur de 4,25 m, d'un poids initial de 270 kg, la fusée américaine Tiamat a été lancée à titre expérimental (étude de la stabilité et de la télécommande). La poussée du réacteur a été de 90 kg durant 45 secondes. A la fin de la phase propulsive, la fusée atteignit la vitesse de 1 000 km/h.



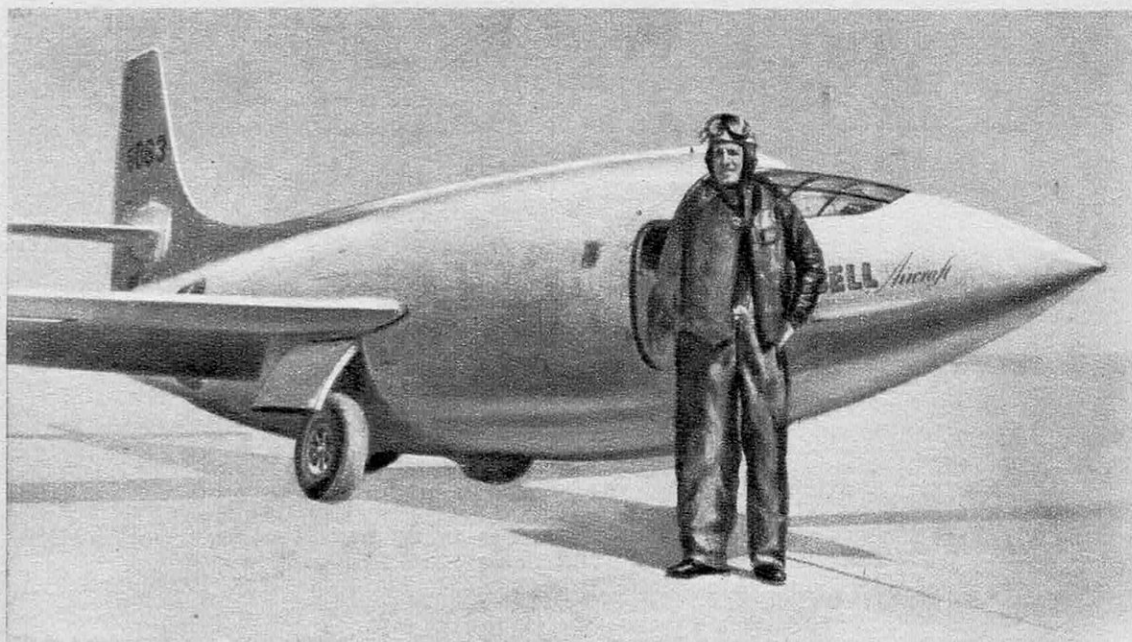
nique une vitesse de 300 m/s au bout de deux secondes de fonctionnement. Cette première fusée se détache alors et le propulseur propre de l'« Aerobee » entre en fonctionnement, portant la vitesse à 1 200 m/s vers 30 km d'altitude. L'accélération est maximum au départ et voisine de 12 g, c'est-à-dire 12 fois environ l'accélération de la pesanteur.

La « Viking » (ex-Neptune), enfin, fruit de la collaboration du Naval Research Laboratory, de la Reaction Motors et de Glenn Martin, est assez semblable à la V-2 dans sa conception générale. Elle est longue de 14 m; son diamètre est de 81 cm et son poids total au départ voisin de 4,3 tonnes. Propulsée par de l'éthanol pur (alcool éthylique) et de l'oxygène liquide, elle est prévue pour emmener une charge utile de 45 kg à 372 km d'altitude. Les performances jusqu'ici atteintes laissent penser que ce programme sera réalisé.

Les fusées ionosphériques doivent être considérées comme les prototypes, sans doute encore bien imparfaits, des futurs engins inter-

planétaires. Bien que leur altitude record n'ait guère dépassé les 400 kilomètres, et qu'en majorité elles se tiennent encore bien loin de cette performance exceptionnelle, elles n'en fournissent pas moins une ample moisson d'enseignements précieux pour les futurs voyages extra-terrestres. Procédés de lancement, possibilités de guidage par radar, radiocommunications, transmission au sol des mesures effectuées aux confins de l'atmosphère, protection contre les radiations, sont autant de problèmes dont elles permettent d'entrevoir les solutions à mettre en œuvre lorsque le moment sera venu où l'homme osera s'aventurer dans l'espace.

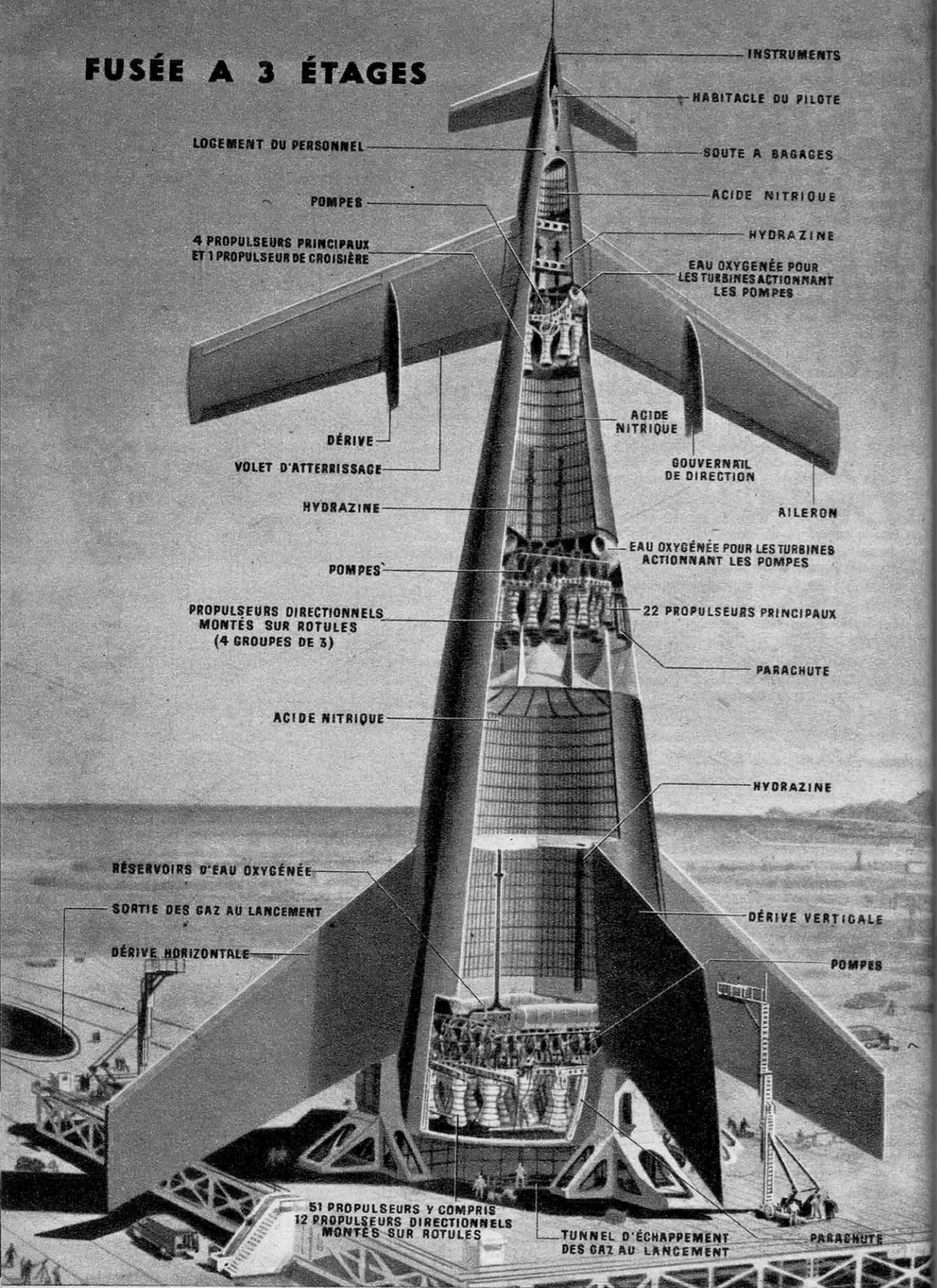
A. Ananoff.



● Le Bell XS-1, avion-fusée expérimental américain, fonctionne au même propergol que la V-2 : alcool et oxygène liquide. La poussée maximum fournie pendant

4 mn 12 s est de 2 720 kg. Cet appareil a une vitesse ascensionnelle de 13 700 m à la minute. Son rayon d'action est de 160 km, sa vitesse théorique à 24 000 m, de 2 730 km/h.

FUSÉE A 3 ÉTAGES



Clef des voyages extra-terrestres :

LA PROPULSION PAR FUSÉE

DU moteur à explosions à la fusée, en passant par le turboréacteur et le statoréacteur, la navigation aérienne dispose d'une gamme de moyens de propulsion adaptés à tous les types de véhicules, au plus lent comme au plus rapide.

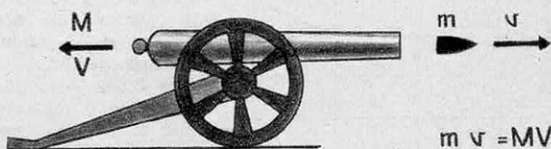
Ce seul classement dans l'ordre des vitesses susceptibles d'être atteintes désignerait la fusée pour celles de plusieurs milliers de mètres par seconde qui seront indispensables quand on voudra se libérer de l'attraction des divers astres, et parcourir dans un temps acceptable les énormes distances qui nous séparent de nos plus proches voisins dans le système solaire.

Mais une autre raison ôte toute hésitation. La navigation interplanétaire n'est pas de la navigation aérienne. Il lui manque, en dehors d'une mince couche qui entoure la Terre et qui n'existe même pas sur tous les astres, sur la Lune en particulier, cette atmosphère comburante qui permet de faire entrer les hydrocarbures dans une réaction où ils ne figurent d'ailleurs que pour un dix-septième du total, et même dans une proportion très inférieure, du cinquantième ou du soixantième, si on le juge avantageux pour le rendement de la propulsion ou la résistance du propulseur à la température. Faute de matière au milieu de laquelle il se déplacerait, le véhicule spatial ne peut appliquer à sa propulsion le principe commun de tous ceux qui naviguent au milieu d'un fluide : rejeter vers l'arrière en accroissant leur vitesse les particules de fluide pré-

levées sur l'avant. Il ne peut rejeter qu'une seule matière, celle qu'il aura emportée avec lui. Et telle est bien la définition la plus générale du mode de propulsion par **fusée**.

LE PRINCIPE DE LA FUSÉE

La propulsion par fusée, obtenue par simple projection de matière en sens inverse du mouvement désiré, paraît toujours un peu mystérieuse. Les non-initiés veulent bien en croire les équations de la mécanique. Mais ils aimeraient voir la force qui produit le mouvement, aussi clairement qu'ils voient la réaction



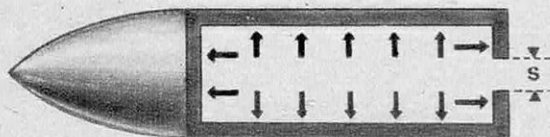
● Principe de la réaction : l'engin de masse M lance un projectile de masse m ; les vitesses acquises sont opposées et telles que les produits mv et MV sont égaux.

du sol qui fait avancer l'homme à pied ou la roue du véhicule à propulsion mécanique.

Ils attribuent quelquefois à un effet semblable le principe qui pousse vers l'avant le véhicule-fusée. En soufflant à grande vitesse son jet de gaz vers l'arrière, celui-ci prendrait appui sur l'air ambiant et pousserait par réaction vers l'avant le véhicule qui le projette. Cette explication a pour premier défaut de ne pas s'appliquer au vide, où la fusée exerce sa force de propulsion tout aussi facilement, et même mieux, que dans l'air. Elle ne vaut pas davantage pour cet autre aspect paradoxal de la propulsion par fusée, qui serait notamment le cas de l'astronef qui se déplace **plus vite** que les gaz qu'il éjecte : comment ce jet de gaz qui, pour l'observateur extérieur, se déplace comme la fusée vers l'avant, prendrait-il appui sur le milieu ambiant, à supposer qu'il y en ait un ?

Ce n'est donc pas à l'extérieur, mais dans la fusée elle-même qu'il faut chercher la force qui la propulse. Si l'on met sous pression un corps de fusée fermé de tous côtés, la résultante générale des forces de pression est nulle. Qu'on débouche un orifice à l'arrière et, sur la section de celui-ci, rien ne vient compenser la pression qui s'exerce sur la partie correspondante de la face avant. La force qui propulse la fusée est donc cette pression interne non équilibrée appliquée,

Le projet est dû à Wernher von Braun. L'engin mesure 80 m de haut et pèse 7 000 tonnes. Le combustible est l'hydrazine et le comburant l'acide nitrique. Le premier étage comporte 51 moteurs-fusées fournissant une poussée de 14 000 t pendant 84 secondes ; le second 34 moteurs-fusées fournissant une poussée de 1750 t pendant 124 secondes ; le troisième 5 moteurs-fusées avec une poussée de 220 t. La vitesse atteinte à la fin du fonctionnement du premier étage est de 8 400 km/h ; à la fin du deuxième, de 23 000 km/h. Le troisième étage devant constituer un satellite artificiel, ses moteurs sont coupés à 30 000 km/h, laissant suffisamment de combustible pour ajuster la vitesse sur l'orbite choisie et pour le voyage de retour.



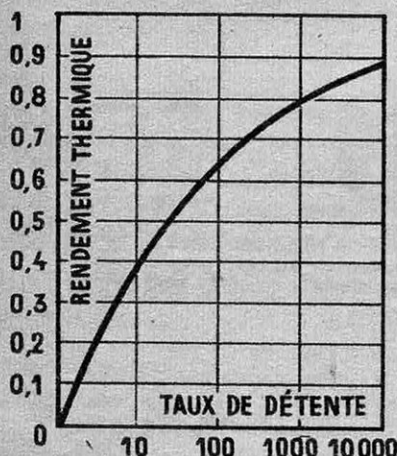
● La force qui, s'exerçant sur une fusée, la pousse vers l'avant est égale, en première approximation, au produit de la pression agissant sur les parois internes du corps de fusée par la section de l'orifice d'éjection.

sur l'avant, à une section égale à celle qu'on ouvre sur l'arrière. Ou plutôt, telle en serait bien la valeur si la pression dans le jet de gaz à sa sortie tombait exactement au niveau de la pression ambiante et si, au voisinage de l'orifice, l'écoulement ne modifiait pas la valeur de la pression interne. L'affaire se complique encore lorsque, pour améliorer le rendement, on substitue à l'orifice percé dans la paroi une tuyère de forme plus savante. Mais ce sont

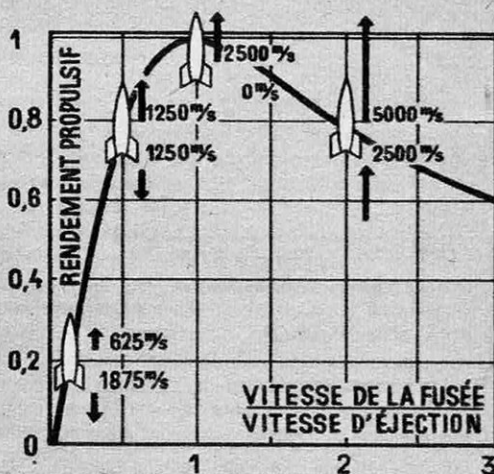
Le « rendement thermique » caractérise cette transformation de l'énergie chimique en poussée ou, ce qui revient au même, en vitesse d'éjection. Ce sera le rapport de l'énergie cinétique des gaz de la combustion, sortant de la tuyère, à l'énergie chimique contenue dans le combustible consommé.

Le facteur essentiel du rendement thermique est la pression dans la chambre de combustion, ou plus exactement le rapport de cette pression à la pression ambiante. La courbe ci-dessous en donne la valeur, en fonction de ce rapport, en supposant négligées toutes les causes de pertes : pertes par imbrûlés, pertes de chaleur par conductibilité, pertes dans la tuyère de détente. Elle suppose des gaz ayant des caractéristiques thermodynamiques voisines des gaz produits par la combustion des hydrocarbures ordinaires dans l'air.

Puisque la pression dans la chambre n'intervient que par son rapport à la pression am-



◆ Le rendement thermique est représenté ici en fonction du rapport de la pression dans la chambre de combustion de la fusée à la pression ambiante ; il augmentera donc à mesure que la fusée s'élèvera en altitude et que la pression ambiante diminuera. La détente est supposée « isentropique », c'est-à-dire sans échange de chaleur avec les parois de l'engin, ni réchauffage inverse du jet de gaz au détriment de la vitesse.



là des corrections qui n'ôtent rien à l'essentiel du phénomène.

Les lois de la mécanique, en l'espèce ce qu'on appelle le « théorème des quantités de mouvement », donnent l'expression exacte de la force de propulsion sous une forme particulièrement simple : la fusée est poussée vers l'avant par une force égale et opposée à la « quantité de mouvement » vers l'arrière des gaz éjectés par seconde, c'est-à-dire au produit de la masse éjectée en une seconde par la vitesse d'éjection. La formule n'est exacte, en toute rigueur, que si les gaz sont détendus par la tuyère à la pression ambiante, valeur qui correspond d'ailleurs au maximum du rendement.

LE RENDEMENT THERMIQUE

Rien, dans ce qui précède, ne fait intervenir la vitesse de la fusée : la poussée en est indépendante. Elle est la même que la fusée soit au repos ou qu'elle se déplace plus ou moins vite.

biante, le rendement thermique d'une fusée augmentera à mesure qu'elle s'élèvera en altitude et que la pression ambiante diminuera. Le gain reste notable pour les fusées réelles, compte tenu de toutes les causes de pertes : la poussée d'une V-2 augmente de près de 20 % en passant du sol à une altitude de 25 000 m ; le gain est très faible par la suite, la fusée fonctionnant déjà à cette altitude très sensiblement comme elle le ferait dans le vide.

Cette liaison du rendement thermique au rapport de la pression de combustion à la pression ambiante explique également qu'on puisse atteindre un rendement excellent, soit dans les hautes couches de l'atmosphère, soit dans le vide interplanétaire, avec des corps de fusées à parois minces, établis pour de faibles pressions.

Par contre, l'aéronautique qui réclame des fusées à fonctionnement de longue durée ne bénéficie pas du même avantage que certaines applications militaires où la durée de fonctionnement est de l'ordre de la seconde, où l'on peut donc tolérer, sans usure de tuyère ou

diminution de résistance mécanique de la chambre, des conditions qui seraient inadmissibles en régime permanent. Il faut alors accepter, pour la bonne marche de la fusée à longue durée, des pertes de chaleur qui ramènent la température des parois à une valeur admissible et influent fâcheusement sur le rendement thermique.

Même lorsque cette chaleur semble récupérée, comme c'est le cas dans les chambres de combustion et les tuyères de la V-2, il faut cependant consentir une protection coûteuse de leurs parois par un film de combustible en excès, perdu pour la plus grande part.

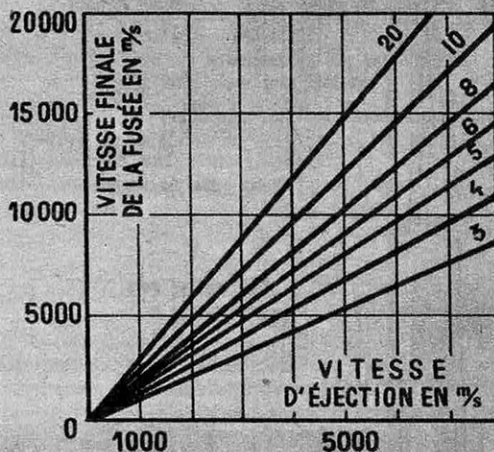
CONSOMMATION ET IMPULSION SPÉCIFIQUES

De même que l'on n'a pas coutume de définir l'économie d'un moteur à explosions ou d'un diesel par son rendement thermique, mais

que fournit la fusée ne produit en effet du travail que dans la mesure où celle-ci se déplace ; par exemple, elle n'en produit aucun si elle reste au repos. On verra, par la suite, comment on fait intervenir cet aspect de la question par l'introduction d'un rendement propulsif ou d'un rendement global. Mais si l'on veut caractériser le moteur-fusée lui-même et non pas le véhicule-fusée sur lequel il est monté, il est nécessaire de rapporter la consommation non pas à un travail, comme celui qu'effectue un cheval pendant une heure, mais à une force maintenue pendant une certaine durée, la seconde ou l'heure. C'est pour la même raison qu'en technique du turboréacteur on évalue la consommation en kg de combustible par kg de poussée et par heure ; on dit, par exemple, que celle des meilleurs turboréacteurs est passée en quelques années de 1 kg/kg/h à 0,75 kg/kg/h environ ; au contraire, la consommation du moteur à explosions s'évalue en kg de

Le rendement propulsif est représenté ici en fonction du rapport entre la vitesse de la fusée et la vitesse des gaz éjectés. Il passe par un maximum quand la vitesse d'éjection égale celle de la fusée, les gaz restant alors stationnaires. Il diminue au-delà, leur vitesse se trouvant dirigée vers l'avant. Les croquis accompagnant la courbe supposent une vitesse d'éjection des gaz, lorsqu'ils sortent de la tuyère, égale à 2 500 m/s.

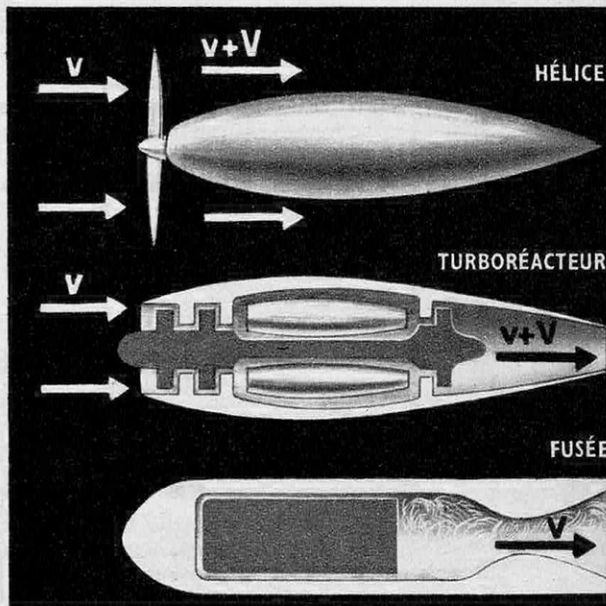
En négligeant la pesanteur et la résistance de l'air, la vitesse finale de la fusée est donnée ici en fonction de la vitesse d'éjection sur la droite correspondant au rapport de masse. On voit qu'une fusée ordinaire, pour atteindre les quelque 7 500 m/s des satellites, réclame soit des rapports de masse très élevés (plus de 20 pour 2 000 m/s à l'éjection), soit des vitesses d'éjection très grandes (7 000 m/s pour un rapport de masse de 3).

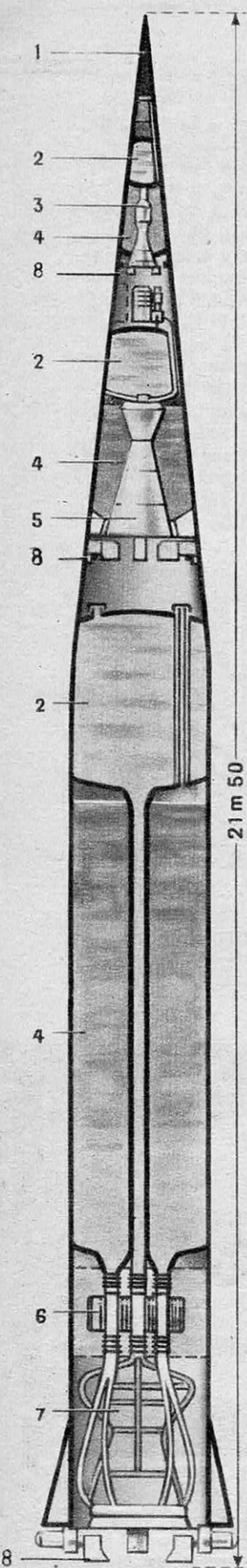


bien par sa consommation, en disant par exemple que tel moteur à explosions brûle 250 g d'essence au cheval-heure, ou tel diesel 170 g seulement de gasoil, de même la notion de rendement thermique fait généralement place pour les fusées à d'autres critères de comparaison. Mais les deux questions se présentent assez différemment.

Le rendement d'un moteur ordinaire est le rapport de l'énergie mécanique fournie sur l'arbre à l'énergie chimique apportée par le combustible. Le rendement thermique de la fusée ne compare pas, comme celui-ci, à l'énergie chimique du combustible une énergie mécanique directement utilisable. La poussée

Dans les deux premiers schémas, l'avion rencontre de l'air à la vitesse relative v et le propulseur communique à cet air un supplément de vitesse V . La force propulsive est égale au produit de la masse d'air intéressée par seconde par V (pour le turboréacteur il faudrait en toute rigueur tenir compte du combustible injecté). La fusée éjecte par seconde une masse m de gaz à la vitesse relative V , la poussée obtenue est encore mV .





de combustible par cheval-heure.

On choisit généralement pour la fusée, dont la consommation est élevée, la seconde pour la mesure des temps. La « consommation spécifique » est alors le poids de combustible nécessaire à l'entretien d'une poussée de 1 kg pendant 1 s. Par exemple, le moteur-fusée 6 000-C-4 de la Reaction Motors qui est monté sur le Bell X-1 a une consommation spécifique de 0,0052 kg/kg/s. C'est 25 fois plus que les meilleurs turboréacteurs à 0,75 kg/kg/h.

On caractérise même le plus souvent la fusée par l'inverse de cette consommation, l'« impulsion spécifique », une « impulsion » étant le produit d'une force par un temps. L'impulsion spécifique sera donc la poussée exercée par le débit de 1 kg/s. Sur les moteurs-fusées réalisés jusqu'ici, elle est de l'ordre de 200, de 192 exactement pour le moteur-fusée du Bell X-1. On retrouve ainsi, à l'accélération de la pesanteur près (9,81 m/s), la vitesse d'environ 2 000 m/s des gaz éjectés, puisque la poussée est le produit de leur vitesse par la masse (et non le poids) des gaz éjectés par seconde, vitesse qui pourrait également servir à préciser la consommation d'une fusée.

LE RENDEMENT PROPULSIF

Le rendement propulsif définit la part de l'énergie cinétique contenue dans les gaz éjectés qui est effectivement employée à la propulsion. On en obtient l'expression en faisant le rapport du travail utile de propulsion, produit de la poussée par la vitesse, à ce travail majoré de l'énergie cinétique emportée par les gaz de la combustion et perdue.

Si l'on compare la propulsion par fusée et par l'ensemble moteur à explosions-hélice, l'équivalent du rendement thermique de la fusée est, comme on vient de le voir, le rendement thermique du moteur à explosions ; la différence est que l'on rap-

porte à l'énergie chimique du combustible, dans le premier cas, l'énergie cinétique du jet de gaz et, dans le deuxième, l'énergie mécanique sur l'arbre. Le parallèle peut être poursuivi pour le rendement propulsif qui est celui de la transformation en travail utile de propulsion de l'énergie cinétique du jet de gaz dans le premier cas, de l'énergie mécanique fournie à l'hélice dans le deuxième.

La correspondance subsiste même dans le détail. On peut très bien en effet présenter le fonctionnement d'une hélice comme un cas particulier de propulsion par réaction. L'hélice prélève à l'avant un air immobile qu'elle rejette vers l'arrière avec une certaine vitesse. Son rendement sera le rapport du travail utile, produit de sa traction par la vitesse de l'avion, à ce travail majoré de l'énergie cinétique emportée dans le souffle de l'hélice et perdue. Le rendement propulsif de la fusée est donc exactement l'équivalent du rendement d'hélice de l'avion.

Le rendement propulsif est évidemment nul, comme celui d'une hélice, pour une fusée au repos. Il croît ensuite avec la vitesse de la fusée. Il passe par un maximum égal à l'unité lorsque la vitesse d'éjection est égale à la vitesse de la fusée, puisque les gaz sont à ce moment abandonnés sans vitesse. Il diminue ensuite jusqu'à devenir nul pour une vitesse infinie de la fusée, l'énergie cinétique perdue dans les gaz de la combustion tenant cette fois à une vitesse dirigée vers l'avant.

De même que, dans le rendement thermique, la pression des gaz dans la chambre n'intervenait que par son rapport avec la pression ambiante, de même, dans le rendement de propulsion, la vitesse d'éjection et la vitesse de la fusée n'interviennent que par leur rapport.

On vérifie l'insignifiance de ce rendement aux vitesses d'avion usuelles et à plus forte raison aux vitesses de décollage où l'on applique la fusée à poudre ou à liquides. Il est encore

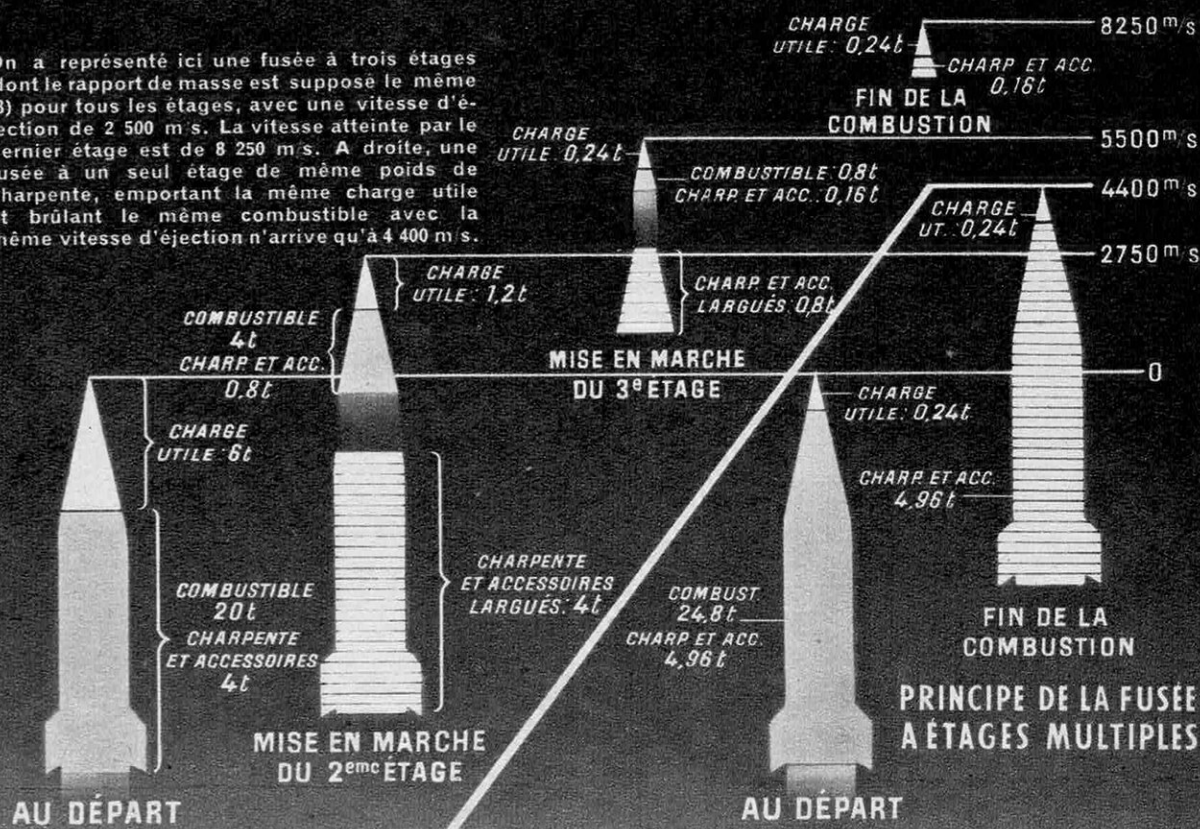
PROJET DE FUSÉE LUNAIRE

Cette fusée à trois étages doit brûler un mélange de gasoil et de tétranitrométhane dans l'oxygène. Le rapport de masse des différents étages serait voisin de 5. Les vitesses atteintes en fin de combustion seraient respectivement de 2 795, 6 360, 10 190 m/s. L'engin mesurerait 21,5 m de long et 2 m de diamètre. D'après Rudolf Reichel, auteur du projet, il faudrait un poids de la fusée au départ de 50 tonnes pour amener 10 kg de charge utile sur la Lune.

1. Charge utile 10 kg environ.
2. Réservoirs à combustible.
3. Moteur : poussée 1 tonne.
4. Réservoirs à oxygène liquide.

5. Moteur : poussée 10 tonnes.
6. Turbines et pompes.
7. Moteur : poussée 100 tonnes.
8. Défecteurs d'échappement.

On a représenté ici une fusée à trois étages dont le rapport de masse est supposé le même (3) pour tous les étages, avec une vitesse d'éjection de 2 500 m/s. La vitesse atteinte par le dernier étage est de 8 250 m/s. A droite, une fusée à un seul étage de même poids de charpente, emportant la même charge utile et brûlant le même combustible avec la même vitesse d'éjection n'arrive qu'à 4 400 m/s.



bien faible, au dessous de 25 %, pour les premiers avions-fusées dont les vitesses soniques ne s'accroissent guère de la propulsion par réaction qu'aux vitesses d'éjection modérées des turboréacteurs. Il commence à devenir acceptable, de l'ordre de 60 %, aux vitesses de 2 000 à 2 500 km/h qu'atteignent aujourd'hui les avions-fusées. Il est excellent et dépasse le rendement des meilleures hélices dans leur domaine subsonique (80 % environ) dès la vitesse finale des V-2, qui approche de la vitesse d'éjection des gaz. Malgré la diminution ultérieure aux très grandes vitesses, qui seront celles des satellites artificiels et atteindront deux ou trois fois la vitesse d'échappement des fusées alimentées avec les plus puissants des mélanges, le rendement propulsif restera dans l'ensemble satisfaisant; cette propriété de la fusée explique la confiance placée en elle par l'astronavigateur.

LE RENDEMENT GLOBAL

Longtemps, le rendement global de la fusée a été défini comme le rapport du supplément d'énergie qu'elle imprimait au véhicule à l'énergie chimique que l'on dépensait.

La définition n'avait qu'un défaut : ce qu'on appelait ainsi rendement global pouvait être supérieur à l'unité et même croître indéfiniment. Aucun calcul n'est exigé pour s'en rendre compte. Si la poussée d'une fusée est, comme nous l'avons vu, indépendante de sa vitesse, le travail de cette poussée, qui s'incorpore au véhicule sous forme d'un supplément d'énergie cinétique, peut croître indéfiniment en même temps que la vitesse de celui-ci. Pratiquement,

la définition ne choquait pas dans les applications aux engins à vitesse modérée où le rendement restait de toute façon très inférieur à l'unité. Mais la question se posait dès qu'on abordait les applications à l'astronautique.

On voit aisément par où pêche cette notion d'un rendement global ainsi défini. Lorsque le véhicule atteint les très grandes vitesses, l'énergie du combustible qu'on prélève à son intérieur pour alimenter la fusée ne se réduit pas à son énergie chimique, telle qu'on en jugerait en le prenant dans un dépôt terrestre où il vous est livré sans vitesse ; il s'y ajoute une énergie cinétique fort coûteuse, que les fractions de combustible brûlées avant celle-ci ont contribué à lui imprimer ; elle peut même être supérieure à la première. Il n'est plus extraordinaire que les dernières fractions de combustible impriment au véhicule un supplément d'énergie supérieur à leur énergie chimique et que le rendement global défini par le rapport des deux devienne supérieur à l'unité.

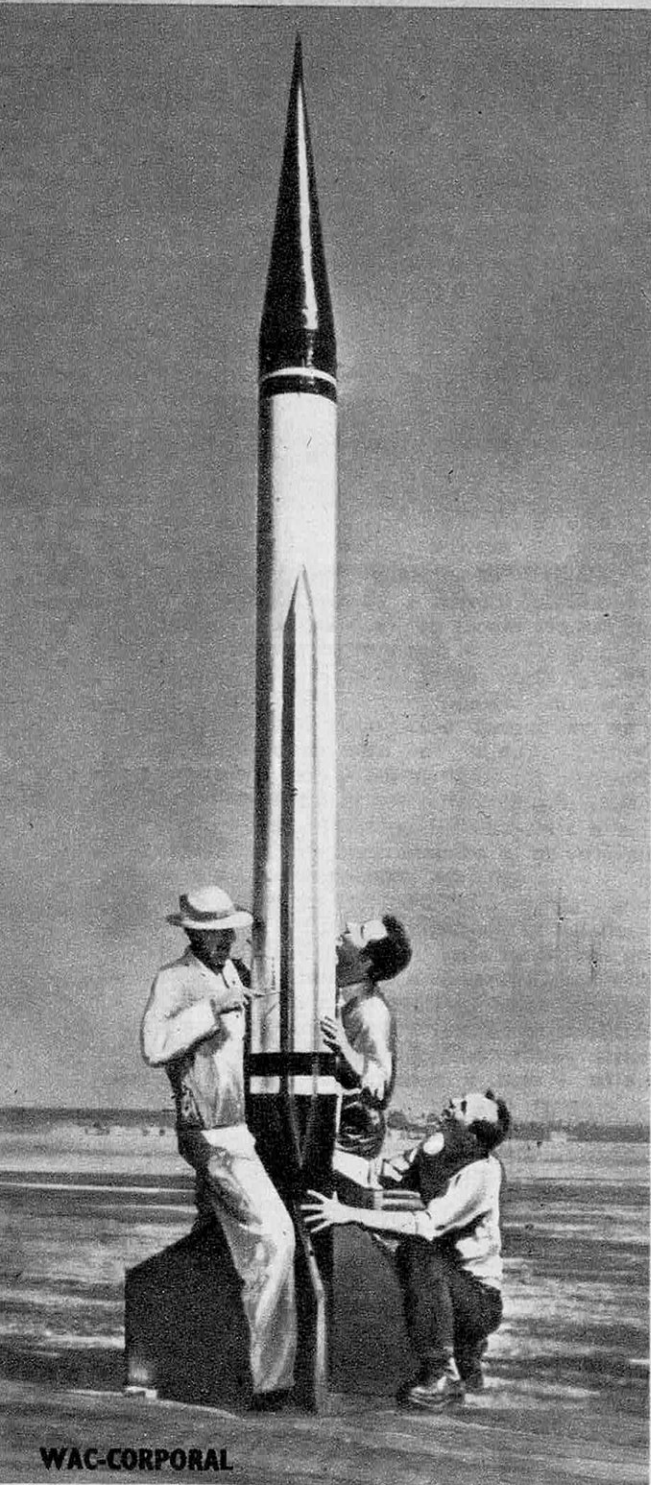
La difficulté disparaît dès que l'on fait entrer en compte cette énergie cinétique, et l'on préfère définir aujourd'hui le rendement global comme rapport du supplément d'énergie cinétique du véhicule à l'énergie totale, chimique et mécanique, du combustible consommé pour le produire. Le rendement reste toujours inférieur à l'unité.

LE RAPPORT DE MASSE

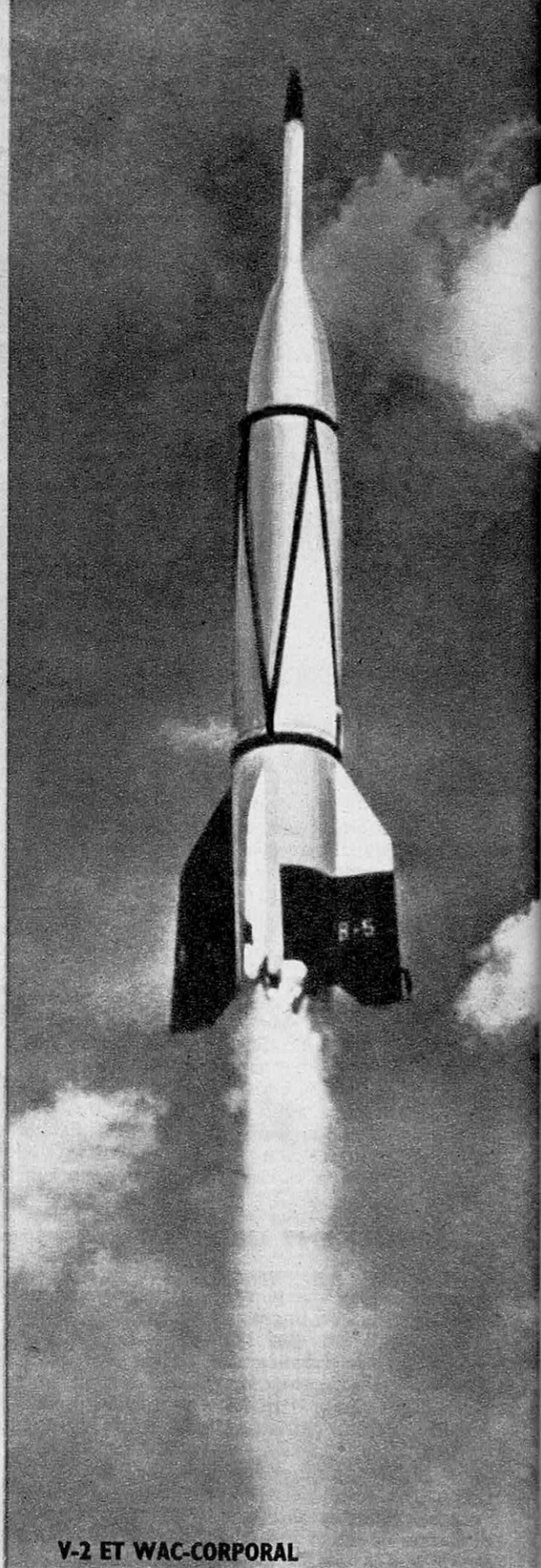
Le calcul de la vitesse finale prise par une fusée, dans le champ de la pesanteur, en tenant compte de la traversée de l'atmosphère, est

UNE FUSÉE COMPOSITE MONTE A 402 KM

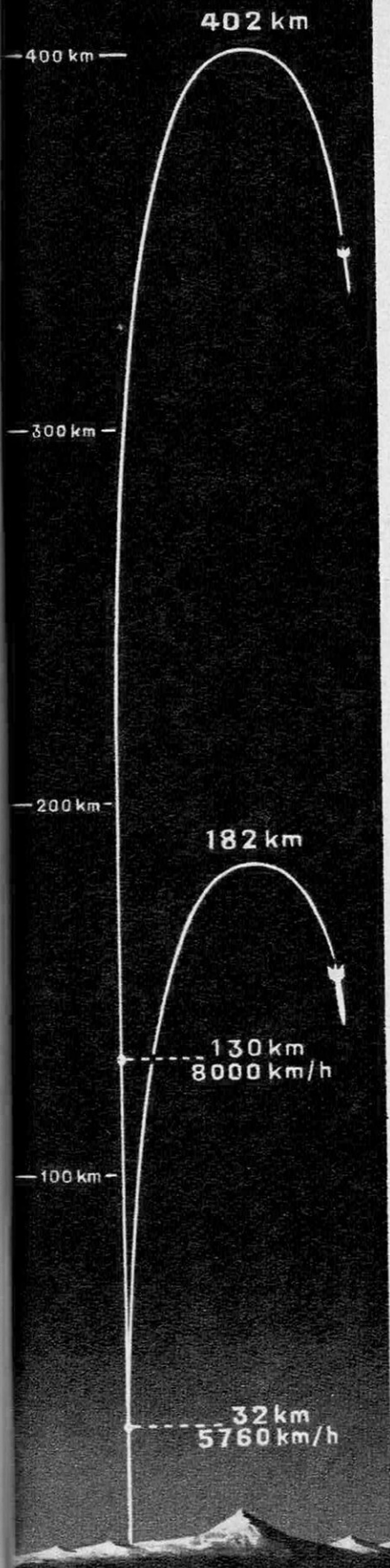
C'est le 24 février 1949, à White Sands, au Nouveau Mexique, que fut lancée une fusée composée d'une V-2 modifiée et d'une Wac-Corporal. Une minute après le lancement, l'engin avait atteint 32 km d'altitude et une vitesse de 5 760 km/h. A ce moment les deux fusées se séparèrent et la V-2, sous l'effet de la vitesse acquise, monta jusqu'à 182 km. Quant à la Wac-Corporal, son propulseur entrant en action, elle atteignit 8 000 km/h au bout de 40 secondes de combustion et grimpa sur sa lancée jusqu'à 402 km, battant tous les records d'altitude.



WAC-CORPORAL



V-2 ET WAC-CORPORAL



assurément compliqué. Mais on peut aisément mettre en évidence le rôle essentiel du « rapport de masse », c'est-à-dire du rapport entre la masse initiale de la fusée et sa masse finale après consommation du combustible, si l'on accepte de négliger à la fois le pesantur et la résistance de l'air. Ces hypothèses simplificatrices n'éloignent d'ailleurs pas tellement de la réalité en astronautique. Le rendement de la propulsion est d'autant plus élevé que la combustion est plus brève, et on l'organiserait pour qu'elle soit achevée sur une courte fraction de parcours ; les tonnages très élevés des engins et l'atteinte rapide des couches atmosphériques à très faible densité ne laissent qu'une part faible à la résistance de l'air.

Si l'on suppose la vitesse de combustion constante, la poussée de la fusée est sensiblement constante, à l'effet près de la contrepression à l'échappement qui tombe très vite. Il semblerait donc que le calcul de la vitesse finale d'une fusée partant du repos soit un problème simple, tout à fait semblable à celui d'un corps partant du repos auquel on appliquerait une force constante comme la pesanteur. Mais il y a une différence essentielle d'un cas à l'autre. Soumis à cette force constante qu'est son poids, le corps en chute libre conserve une masse constante. Soumise à une poussée constante par l'éjection à grande vitesse des gaz provenant du combustible qu'elle emporte, la fusée perd de sa masse à mesure que la combustion progresse ; le mouvement est celui d'une masse régulièrement décroissante avec le temps, soumise à une force constante. Le calcul donne la vitesse finale sous une forme très simple. Elle est égale au produit de la vitesse d'éjection par le « logarithme népérien » (1) du rapport de masse. Par exemple, une fusée qui contiendrait les deux-tiers de son poids total en combustible (rapport de masse 3) et qui éjecterait ses gaz à la vitesse de 2 000 m/s atteindrait, en fin de combustion, une vitesse de $2\,000 \times 2,3 \times \log 3$, soit 2 200 m/s. Ce sont là des chiffres voisins de ceux de la V-2.

Pour atteindre les énormes vitesses indispensables à l'astronautique, quel effet peut-on attendre des progrès de chacun des deux facteurs ?

Augmenter la vitesse d'éjection est l'idée la plus simple. Malheureusement, la vitesse finale est seulement proportionnelle à cette vitesse d'éjection, limitée aussi bien par l'énergie chimique du combustible que par la température acceptable pour les parois de la chambre et la tuyère. Avec les rapports de masse réalisés jusqu'ici, 3 environ, il n'est pas question d'atteindre la vitesse de libération, ni même la vitesse d'un satellite artificiel sur son orbite ; il faudrait pour cette dernière, une vitesse d'éjection d'au moins 7 000 m/s.

Le relèvement du rapport de masse offre des perspectives plus séduisantes, car il croît très vite à mesure qu'on allège le poids mort et qu'on accepte, pour une même charge utile, un tonnage initial plus élevé. Il est certain que l'on pourra largement dépasser le rapport de masse des V-2, et atteindre par exemple le rapport de masse 5 (80 % de combustible). Mais le rapport de masse 10 (90 % de combustible) apparaît comme l'extrême limite.

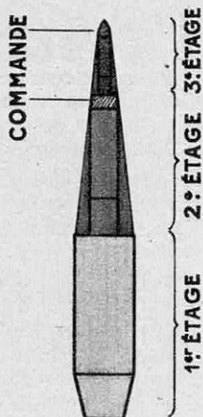
Faut-il donc conclure que le premier stade de l'astronautique lui-même, sous la forme du satellite terrestre qui exige plus de 7 000 m/s pour la seule vitesse orbitale, est inaccessible, puisque la fusée de 3 000 m/s de vitesse d'éjection et de rapport de masse 10 n'atteindrait encore que 6 900 m/s ?

LA FUSÉE A ÉTAGES

La fusée à étages, combinaison de fusées de grandeur décroissante abandonnées successivement après consommation de leur combustible, vise précisément à dépasser cette

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

● Dans ce premier projet présenté par Gatland, Kunesch et Dixon, la charge utile finale est supposée nulle, le seul but de l'opération étant de lancer sur une orbite stable autour de la Terre, un projectile inerte. Les dimensions sont donc seulement déterminées par le poids de l'appareillage de contrôle chargé de placer l'étage final sur l'orbite. Il est prévu que cette opération incombe au second étage, le troisième n'étant doté que d'un système gyroscopique simple maintenant l'orientation de l'axe pendant que le dernier propulseur imprime le complément de vitesse nécessaire.



CARACTÉRISTIQUES DU SATELLITE "MINIMUM"

	1 ^{er} étage	2 ^e étage	3 ^e étage
Charge utile	(kg) 2 880	210	0
Appareillage de contrôle	(kg) —	100	25
Charpente	(kg) 1 000	350	30
Pompes et moteurs	(kg) 1 730	300	15
Combustible	(kg) 11 190	1 920	140
Poids total	(kg) 16 800	2 880	210
Durée de fonctionnement....	(s) 103	103	206
Accélération	6 g	6 g	3 g
Longueur	(m) 15,6	8,3	3
Diamètre	(m) 1,9	1,05	0,5

limite que la mécanique impose à la fusée simple.

Supposons que les perfectionnements constructifs de la fusée permettent la réalisation d'engins qui puissent emporter les deux-tiers de leur poids en combustible et un cinquième en charge utile; ce serait déjà un progrès considérable sur la V-2 qui, pour la même proportion de combustible, n'emporte guère que le dixième de son poids en charge utile. Par exemple, une fusée de 30 t au départ empor-

terait 20 t de combustible pour conduire à destination une charge utile de 6 t.

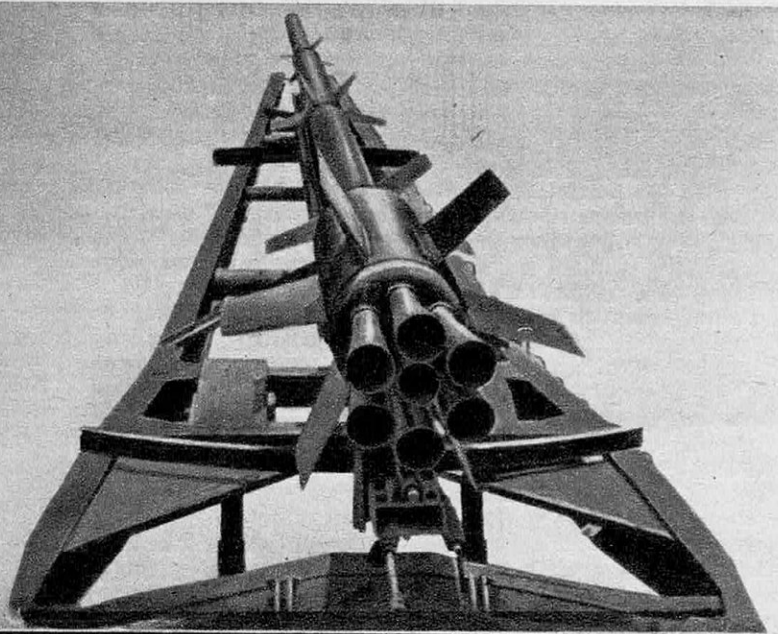
Faisons de cette charge utile de 6 t une deuxième fusée au même pourcentage de combustible, 4 t, et de charge utile, 1,2 t, puis de cette dernière une troisième fusée contenant 0,8 t de combustible et 0,24 t d'une charge utile finale.

Si les progrès en combustibles et moteurs-fusées ont en même temps porté à 2 500 m/s les vitesses d'éjection, la formule qui donne la vitesse finale pour le rapport de masse 3 conduit à 2 750 m/s pour chacun des trois étages. La charge utile de 0,24 t acquerra finalement une vitesse de 8 250 m/s.

Si, partant de la même fusée de 30 t, on avait fait brûler la même quantité totale de combustible de 20 t + 4 t + 0,8 t qu'elle emporte, on n'aurait atteint que la vitesse de 4 400 m/s.

A quoi tient la différence? Simplement à ce que la fusée à un seul étage doit accélérer jusqu'à la vitesse finale non seulement la charge utile mais la masse des réservoirs, moteurs-fusées... dont la fusée à plusieurs étages abandonne la plus grande partie, à vitesse moindre, dès qu'ils ont cessé d'être utiles.

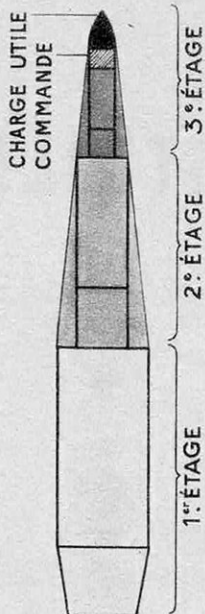
Il semble donc qu'on puisse atteindre par le détour de la fusée à étages multiples des vitesses aussi élevées qu'on le désire. Tel est bien le résultat théorique de ce principe, mais à condition de multiplier le nombre d'étages jusqu'au degré où le transport d'une charge utile infime, de quelques centaines de kilogrammes, exigera un premier étage de fusée



LA «RHEINBOTE», fusée à quatre étages, fut tirée par les Allemands contre Anvers en 1944. Elle emportait 500 kg d'explosif à plus de 225 km. Il existait aussi des versions possédant seulement trois ou deux étages.

UN SATELLITE AVEC 100 Kg DE CHARGE UTILE

	1 ^{er} étage	2 ^e étage	3 ^e étage
Charge utile (kg)	15 600	1 680	100
Appareillage de contrôle (kg)	—	—	100
Charpente (kg)	5 420	1 900	240
Pompes et moteurs (kg)	9 350	1 620	120
Combustible (kg)	60 530	10 400	1 120
Poids total (kg)	90 900	15 600	1 680
Durée de fonctionnement.... (s)	103	103	206
Accélération (g)	6 g	6 g	3 g
Longueur (m)	24	13,25	6
Diamètre (m)	3,5	1,9	1



● Alors que le projet de la page précédente n'envisageait qu'un satellite inerte qu'on suivrait au radar, le projet ci-contre admet une charge utile de 100 kg constituée, par exemple, par des instruments de mesure (rayons cosmiques, ultraviolet, etc.) et un émetteur transmettant les résultats au sol. Les dispositifs de commande sont tous logés dans le dernier étage. On voit que le poids total de l'engin passe de 16,8 tonnes dans le dernier étage. On voit que le poids total de l'engin passe de 16,8 tonnes pour le modèle précédent à près de 91 tonnes. La longueur passe de 15,6 m à 24 m et le diamètre de 1,9 m à 3,5 m. Le poids total de combustible dépasse 72 t.

pesant des dizaines ou des centaines de milliers de tonnes. Pratiquement le rendement devient bien faible dès que l'on atteint plus de trois étages comme le montrent les projets de véhicules à destination d'un satellite artificiel tirés du mémoire de Gatland, Kunesch et Dixon au 2^e Congrès International d'Astronautique.

Pratiquement on n'a pas dépassé jusqu'ici deux étages dans les projets ou l'expérimentation des fusées pour objectifs terrestres. On sait que le record d'altitude, 402 km, a été atteint à White Sands par une fusée à deux étages composée d'une V-2 et d'une Wac-Corporal.

L'emploi de réservoirs largables, proposé depuis quelques années, est basé sur le même principe que la fusée à étages. Il vise également l'abandon des parties inutiles de la charpente d'une fusée à mesure que le combustible est consommé. Mais les éléments abandonnés ne

prennent pas nécessairement la forme d'un ensemble complet de réservoirs, pompes, chambres de combustion et tuyères. On peut ainsi multiplier les opérations de largage. On peut également conserver pour le fonctionnement ultérieur de ce qui reste de la fusée tout ou partie des éléments qui peuvent servir pour les étages suivants. On peut enfin combiner les réservoirs largables au début avec une fusée à deux étages pour la fin. C'est dans les facilités de construction données par ces différentes possibilités que réside la supériorité de la fusée à étages.

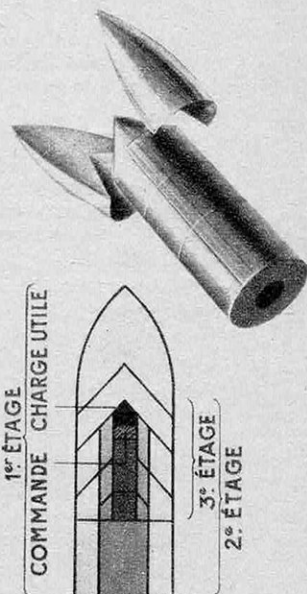
Le rendement paraîtra encore bien faible par comparaison avec nos engins de transport terrestres, même ceux où tout est sacrifié à la vitesse. Mais d'ores et déjà, le but ne semble plus hors d'atteinte, bien que nos moyens techniques soient encore rudimentaires.

Camille Rougeron

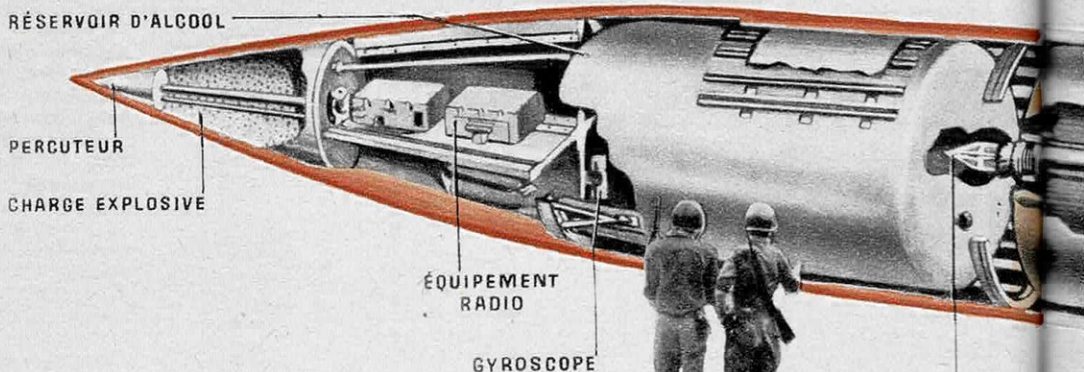
FUSÉE-SATELLITE A RÉSERVOIRS LARGABLES

	1 ^{er} étage	2 ^e étage	3 ^e étage
Charge utile (kg)	18 300	2 670	220
Appareillage de contrôle (kg)	—	—	100
Charpente (kg)	6 200	2 340	380
Pompes et moteurs (kg)	7 400	1 910	190
Combustible (kg)	59 000	11 380	1 780
Poids total (kg)	90 900	18 300	2 670
Durée de fonctionnement.... (s)	100	96	206
Accélération (g)	6,6 g	7,25 g	3 g
Longueur (m)	12,5	8,25	5,25
Diamètre (m)	4	2,5	1,2

● La fusée à réservoirs largables, décomposée pour aboutir à un noyau central, permet une construction plus légère que la fusée à étages car sa longueur est réduite. De plus, le moteur-fusée central du premier étage peut être supprimé, celui du second étage occupant sa place et pouvant fonctionner dès le départ. Ce projet, emprunté à Gatland, Kunesch et Dixon, indique une charge utile finale double de celle de la fusée à trois étages de même poids au départ. Les derniers étages peuvent avoir une forme peu aérodynamique, se déplaçant dans un vide presque absolu.



COMBUSTIBLES POUR FUSÉES



VINGT ans de progrès ont fait de la fusée la plus légère et la moins encombrante des machines thermiques. On ne saurait trop admirer les réalisations qui ont abouti à tirer près d'un million de chevaux de l'appareil propulsif d'une V-2, et les progrès en cours dont on attend les chambres de combustion supportant plus de 3 000°C et les vitesses d'éjection de 4 000 ou 5 000 m/s.

Comment peut-on en arriver là?

Les combustibles pour fusées se sont limités longtemps aux poudres en usage dans les divers artifices pyrotechniques, et les premiers vols faits en 1928 à la Wasserkuppe par Stamer, suivi par Opel et Valier, les utilisaient encore. La poudre noire donna lieu à des explosions et accidents mortels ; les poudres à base de nitrocellulose et de nitroglycérine aujourd'hui employées en balistique furent adoptées très rapidement avec des résultats bien meilleurs. Mais elles conviennent mal pour les durées de combustion prolongées.

Le gros progrès vint de la fusée à liquides, seule adaptée à une combustion de plusieurs minutes. Les essais en commencèrent en 1934, avec Helmuth Walter qui réussit à intéresser la marine allemande à l'eau oxygénée concentrée pour la propulsion des torpilles et des sous-marins ; le premier vol sur avion eut lieu en janvier 1937 et, dès juin suivant, on tirait les premières fusées.

Puis comburants et combustibles se multiplièrent. L'oxygène liquide, qui devait être utilisé sur les V-2, apparaissait ; l'acide nitrique s'appretait à le concurrencer à la fin de la guerre. L'alcool, le pétrole, l'aniline, les éthers vinyliques... s'offraient comme combustibles. Si bien qu'il fallut créer tout un vocabulaire pour classer les différents produits dont la réaction peut être utilisée dans un corps de fusée.

LES MONERGOLS

La plus simple des fusées, en théorie, ferait appel à un « monergol », cette désignation allemande rappelant que l'énergie de la réaction vient d'un seul produit, mélange stable conte-

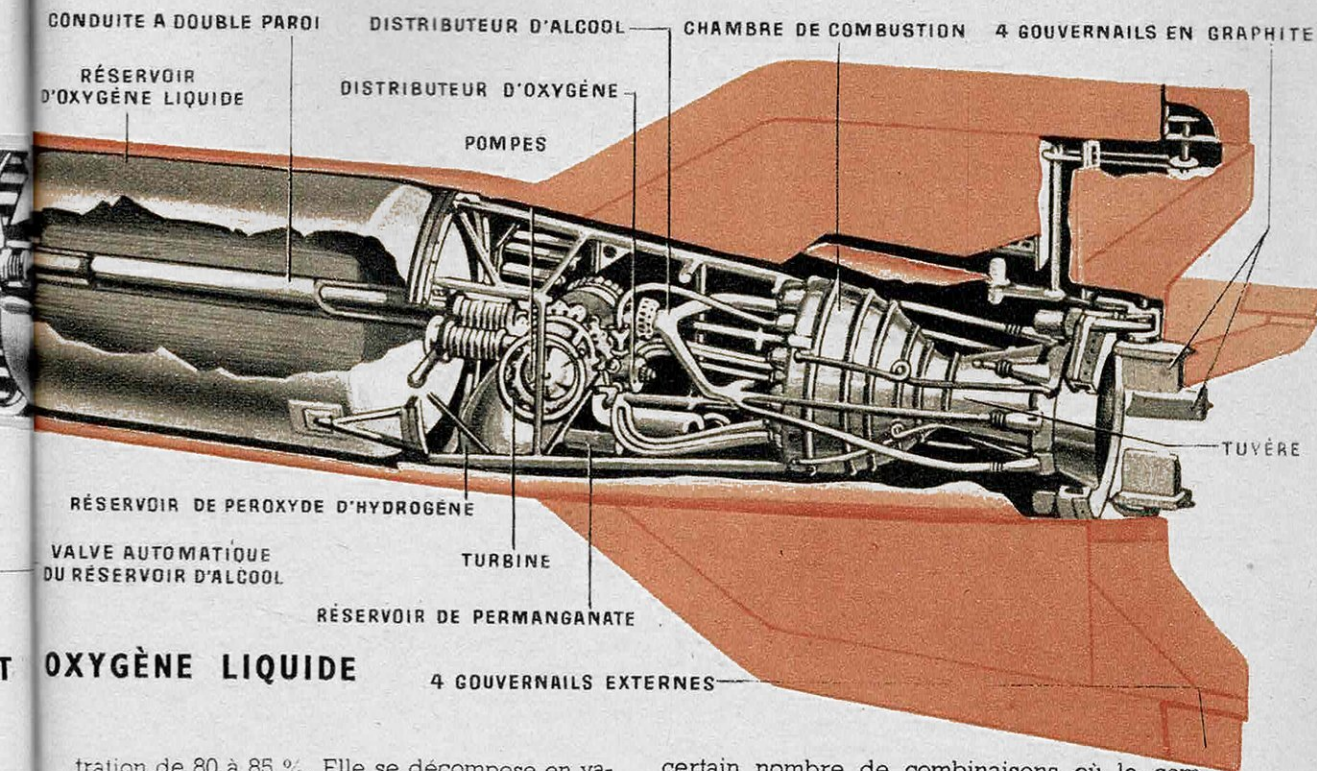
LA FUSÉE V-2 A ALCOOL ET OX

nant à la fois le comburant et le combustible.

Les poudres solides, ou plutôt plastiques, rentrent évidemment dans cette définition. La balistite américaine, la cordite britannique, la poudre japonaise qui servait de combustible sur les « Baka », sont des mélanges de nitrocellulose et de nitroglycérine, additionnées quelquefois de faibles quantités de produits à fonctions variées (stabilisants, etc.). Pour économiser la nitroglycérine, qui a sa source dans les graisses alimentaires, les chimistes allemands avaient étudié des produits de substitution, comme le dinitrate de diéthylène-glycol qui présente par ailleurs des avantages certains de manipulation par sa sensibilité moindre, et de meilleure gélatinisation de la nitrocellulose.

Mais les poudres solides ont de multiples inconvénients. Leur vitesse de combustion, donc la pression dans la chambre, dépend très largement de leur température au moment de l'inflammation. Même avec des pains de poudre très gros — ils atteignaient 110 mm de diamètre sur les « Baka » et dépassent ce chiffre sur les bombes-fusées « Tiny Tim » américaines — la combustion est achevée en quelques secondes. Leur pouvoir calorifique est inférieur à celui des produits liquides, nitroglycérine par exemple, qui entrent dans leur composition. Enfin, il n'est pas possible de recharger le corps de fusée avec une poudre solide, comme on le fait avec un liquide contenu dans un récipient léger où on le reprend avec une pompe ; on y perd en rendement de construction.

Le seul monergol liquide qui ait été utilisé en pratique est l'eau oxygénée, à la concen-



tration de 80 à 85 %. Elle se décompose en vapeur d'eau et oxygène par l'addition d'un catalyseur, solution de permanganate de calcium ou de sodium ; on emploierait de préférence aujourd'hui un catalyseur solide. Les autres produits d'emploi théoriquement possible, nitroglycérine, dinitrate de diéthylène-glycol, nitrate de méthyle, sont trop sensibles à l'explosion pour être utilisables à l'état pur ; ils exigent l'addition d'un diluant et leur utilisation serait encore assez risquée. Le « Myrol » allemand, mélange de nitrate de méthyle et de méthanol, est un exemple de telle addition. Seul le nitrométhane, avec addition d'un catalyseur pour régulariser la combustion, semble pouvoir donner satisfaction. On a même pu soutenir que le nitrométhane était beaucoup moins sensible à la chaleur que l'eau oxygénée, pas beaucoup plus au choc, qu'il se prêtait mieux au pompage, qu'il attaquait moins les réservoirs. Comme sa vitesse d'éjection est plus élevée des deux-tiers que celle de l'eau oxygénée, il la remplacerait donc avantageusement.

DIERGOLS ET HYPERGOLS

Les diergols, selon la désignation allemande, (ce sont les « bipropellants » anglais et américains par opposition aux précédents, les « monopropellants ») demandent l'énergie de la réaction au mélange de deux liquides, un comburant et un combustible ; ils exigent un dispositif d'allumage particulier. Les « hypergols » font appel à une réaction de même nature, mais l'inflammation se produit dès qu'il y a mélange ; c'est le cas en particulier d'un

certain nombre de combinaisons où le comburant est l'acide nitrique.

L'organisation et le fonctionnement de la fusée dépendent principalement des combustibles, dont trois ont été spécialement étudiés et appliqués : l'eau oxygénée, l'oxygène liquide, l'acide nitrique.

LES COMBURANTS

L'eau oxygénée, indépendamment de ses applications comme monergol, a été étudiée comme comburant dès 1934, et appliquée dès 1936. Le combustible était l'hydrate d'hydrazine, avec lequel on obtint le premier hypergol, puis le mélange méthanol-hydrate d'hydrazine qui a l'avantage d'un pouvoir calorifique plus élevé. Elle a servi notamment pour le moteur-fusée Walter HWK-509 du Messerschmitt Me-163.

Bien qu'on ait considéré longtemps les produits à base d'eau oxygénée comme relativement sûrs, les inconvénients en sont multiples. La première difficulté est de l'obtenir à forte concentration (85 % environ) puis de la conserver et de la transporter. L'eau oxygénée attaque alors les réservoirs ; la dissociation suit la corrosion ; le dégagement de chaleur provoque l'explosion. On y pare avec des stabilisants (phosphore ou oxyquinoléine), des matériaux inoxydables (acier au chrome-nickel), ou très purs (aluminium), recouverts au besoin de revêtements protecteurs (produits cireux, chlorure de polyvinyle).

Les conditions d'emploi sont délicates. A forte concentration, plus de 87 %, elle explose au choc d'une balle. Les impuretés dans les canalisations peuvent provoquer également la

QUELQUES POUDRES MODERNES POUR FUSÉES

	Balistine	Cordite	Poudre japonaise (Baka)	Wasag R-61 (allemande)	Giesling Pulver (allemande)
Nitrocellulose	60	77,2	59,9	61,5	29,0
Nitroglycérine	40	19,8	26,9	—	—
Diphénylamine	—	—	—	—	0,5
Sulfate de potasse ...	—	—	2,9	—	—
Alpha-nitronaphtaline.	—	—	6,1	—	—
Ethyl-centralite	—	—	2,9	—	—
Dinitrate de diéthylène-glycol	—	—	—	34,0	18,0
Ethyl-phényl-méthane.	—	—	—	1,4	—
Diphényl-méthane ...	—	—	—	2,1	—
Trinitrotoluène	—	—	—	—	50,0
Diéthyl-diphényl-urée..	—	—	—	—	0,5
Divers (eau, cendres).	—	1,0	1,3	1	—

décomposition et l'explosion. Les propriétés « hypergoliques » d'auto-inflammation du mélange ne sont pas toujours avantageuses ; elles sont également incendiaires. Le stockage sur le bois d'un plancher de récipients insuffisamment vidés a provoqué sa combustion.

L'oxygène liquide, bien connu par son emploi sur les V-2, présente l'avantage d'une production aisée, avec une très faible dépense d'énergie, à bas prix, à un degré de pureté aussi grand qu'on peut le désirer.

Ses inconvénients dérivent des difficultés d'isolation (il bout à -183°C) qui obligent à la conservation et au transport en récipients ouverts. Le choix des matériaux pour réservoirs et tuyautages est limité à ceux qui ne sont pas cassants à très basse température. Au surplus, certains métaux peuvent brûler dans l'oxygène. Le cuivre et certains bronzes conviennent assez bien.

Il ne faut pas d'ailleurs s'exagérer les difficultés de conservation et de transport. La perte

par évaporation est une question de durée et de tonnage. Pour quelques minutes et quelques tonnes, elle reste insignifiante, même en récipients non isolés. Avec une isolation soignée, on peut stocker de gros tonnages en réservoirs dont le contenu mettrait plusieurs mois à s'évaporer.

L'acide nitrique, introduit pour la première fois dans la technique des fusées par Zborovski, a fait l'objet de nombreuses recherches en Allemagne, notamment chez B. M. W. (Bayerische Motoren Werke). Il est plus coûteux que l'oxygène extrait de l'air, mais ses possibilités de production sont de loin supérieures à celles de l'eau oxygénée.

Le stockage et le transport sont relativement aisés avec un produit à haute concentration. L'acide concentré rend « passifs » les métaux facilement oxydables tels que le fer, et ne les attaque donc pas. Le phénomène est encore plus accentué avec l'aluminium ou le chrome. Au surplus, les aciers inoxydables au chrome-nickel, les matériaux céramiques et la plupart des verres ne sont pas attaqués, même par l'acide étendu.

L'inconvénient principal est la combustion incomplète avec dégagement de vapeurs nitreuses toxiques. On l'évite par un excès de combustible, qui a d'ailleurs l'avantage de donner une consommation spécifique moindre.

LES COMBUSTIBLES

Les combustibles réagissant avec des carburants aussi actifs que l'eau oxygénée concentrée, l'oxygène liquide et l'acide nitrique sont évidemment très nombreux et B. M. W. avait étudié près de trois mille combinaisons. Mais les exigences sont tout aussi nombreuses.

On demande au combustible un pouvoir calorifique élevé et une forte densité, un très faible délai d'allumage lorsqu'on préfère les hypergols, une bonne stabilité pendant un long stockage, une attaque faible des réservoirs,

COMBURANTS POUR LES FUSÉES A LIQUIDES

	Densité	Point d'ébullition	Pouvoir calorifique supérieur du mélange kcal/kg	Vitesse théorique d'éjection m/s
Acide azotique	1,52	86°C	1 460	3 500
Peroxyde d'azote ..	1,47	22°C	1 720	3 790
Eau oxygénée	1,46	—	1 600	3 660
Oxygène	1,14	-183°C	2 500	4 580
Ozone	1,45	-112°C	2 820	4 860

● Le pouvoir calorifique et la vitesse théorique d'éjection sont calculés pour la réaction du comburant indiqué avec le toluène ; ils restent sensiblement les mêmes avec la plupart des autres hydrocarbures. Il n'a pas été indiqué sur ce tableau de point d'ébullition pour l'eau oxygénée à très forte concentration, ce corps étant très instable dès que la température atteint une centaine de degrés.

COMBUSTIBLES LIQUIDES POUR FUSÉES

	Densité	Point d'ébullition	Pouvoir calorifique supérieur du mélange kcal/kg	Vitesse théorique d'éjection m/s
Hydrogène	0,07	-253°C	3 210	5 200
Essence d'aviation ..	0,72	113°C	2 365	4 455
Méthane	0,41	-161°C	2 390	4 470
Alcool éthylique ...	0,79	78°C	2 080	4 180
Acétylène	0,62	-84°C	2 880	4 920

● Dans ce tableau, le comburant commun est supposé être l'oxygène. La vitesse d'éjection indiquée est la vitesse « théorique », celle qui serait atteinte avec un rendement thermique égal à l'unité, c'est-à-dire avec transformation intégrale de la chaleur en vitesse. Pour les gaz (hydrogène, méthane, acétylène), la densité indiquée est celle correspondant au point d'ébullition à l'état liquide.

Ces courbes montrent la composition des gaz dans la combustion pétrole-oxygène qui, si elle était complète, donnerait uniquement du gaz carbonique (CO₂) et de la vapeur d'eau (H₂O). Quand la température croît, la combustion est de plus en plus incomplète.

la résistance au froid jusqu'à -50°C, une faible viscosité à basse température et en particulier une variation de viscosité parallèle à celle du comburant.

Les combustibles les plus employés sont :

— avec l'eau oxygénée : l'hydrate d'hydrazine et ses additions, telles que le méthanol.

— avec l'oxygène liquide : l'alcool éthylique, les hydrocarbures, l'hydrazine, l'ammoniaque liquide.

— avec l'acide nitrique : l'aniline, le furfurole, les viscols (éthers vinyliques).

LE POUVOIR CALORIFIQUE

La première qualité exigée des combustibles et comburants pour fusées est un pouvoir calorifique élevé ; on demande à un poids donné de mélange de dégager dans sa combustion le maximum de cette chaleur qui se transforme en vitesse du gaz et en énergie propulsive.

De ce point de vue, l'oxygène liquide l'emporte largement sur l'acide nitrique et surtout sur l'eau oxygénée, puisque le gasoil brûlé dans le premier donne 2 150 calories par kg de mélange, alors qu'il n'en donne que 1 375 dans le deuxième et 1 150 dans le dernier. On a cherché à faire mieux encore qu'avec l'oxygène. L'ozone, sa forme triatomique, se décomposant en oxygène avec fort dégagement de chaleur, permettrait théoriquement de relever les vitesses d'éjection de près de 10 % ; il

est malheureusement très instable et ne peut être utilisé sous forme liquide qu'en mélange avec l'oxygène. Certains envisagent même des réactions où entrent d'autres « oxydants » que l'oxygène, le fluor, par exemple.

La même recherche a été faite du côté des combustibles et il est certain que l'alcool ordinaire (éthanol) brûlant dans l'oxygène en dégageant seulement 2 080 calories par kg de mélange est inférieur à l'essence d'aviation (environ 2 365 cal/kg), à l'acétylène (2 880 cal/kg) et surtout à l'hydrogène (3 210 cal/kg). Là encore on a cherché si d'autres réactions dégageant plus de chaleur ne seraient pas plus avantageuses ; le tableau ci-dessous indique quelques-unes de celles auxquelles on a pensé, dont certaines, comme la combustion du magnésium dans l'oxygène (3 615 cal/kg), ou du calcium dans le fluor (3 700 cal/kg) dégagent plus de chaleur encore à poids égal que celles de l'hydrogène dans l'oxygène.

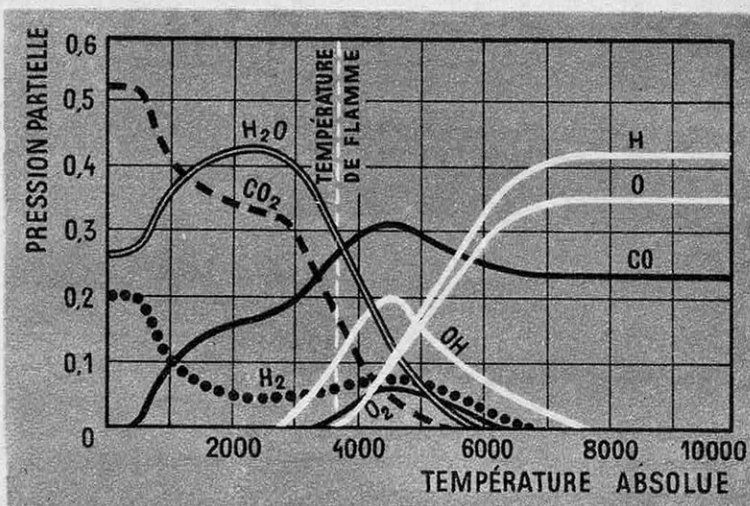
Mais de nombreux autres facteurs interviennent dans le rendement de la propulsion par fusée, qui éliminent malheureusement toutes ces combinaisons séduisantes.

LE POIDS MOLÉCULAIRE

On ne cherche pas en effet la température pour elle-même — elle ne vaut guère que des difficultés d'exécution — mais pour la vitesse qu'elle permet d'imprimer aux gaz de la combustion.

La thermodynamique donne cette vitesse d'éjection par une formule qui tient compte de nombreux facteurs, la température qui intervient par sa racine carrée, le rapport de détente, le rapport des chaleurs spécifiques des gaz de la combustion, et leur poids moléculaire qui intervient par l'inverse de sa racine carrée. Les gaz les plus légers seront donc les plus avantageux.

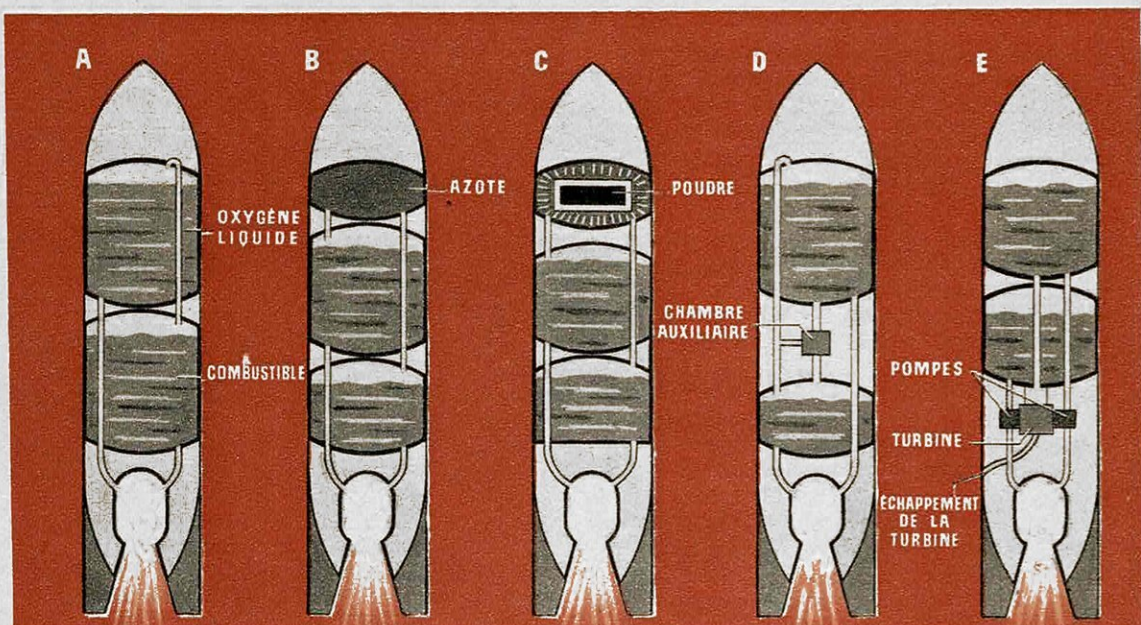
C'est une nouvelle raison importante de supériorité théorique de l'hydrogène et des corps qui en contiennent, ammoniaque, eau oxygénée... sur les combinaisons à plus fort pouvoir calorifique qui donnent naissance à des produits de combustion de poids moléculaire



EXEMPLES DE COMBUSTIBLES SOLIDES

Combustible	Réaction	Pouvoir calorifique supérieur du mélange kcal/kg	Vitesse théorique d'éjection m/s
Carbone...	$C + O_2 = CO_2$	2 140	4 230
Phosphore...	$2P + 5O = P_2O_5$	2 634	4 700
Silicium...	$Si + O_2 = SiO_2$	3 150	5 150
Magnésium...	$Mg + O = MgO$	3 615	5 510
Magnésium...	$Mg + 2H_2O = Mg(OH)_2 + H_2$	3 515	5 430
Aluminium...	$2Al + 3O = Al_2O_3$	3 705	5 560
Calcium...	$Ca + F_2 = CaF_2$	3 700	5 560

● Ce tableau indique des réactions qui dégagent plus de chaleur que la combustion du carbone et même de l'hydrogène. Toutes réserves doivent être faites sur les possibilités de réalisation de la réaction aux températures qui seraient atteintes et surtout sur les possibilités de transformation de l'énergie calorifique dégagée en vitesse d'éjection avec un rendement pratique acceptable.



● On a groupé sur cette figure divers systèmes d'alimentation pour fusées à combustibles liquides. En A, la pression nécessaire pour chasser combustible et comburant est fournie par l'évaporation de ce dernier (oxygène

liquide); en B, on utilise un réservoir de gaz sous pression (air ou azote); en C, une charge de poudre; en D, la réaction des deux liquides dans une chambre auxiliaire; en E, des pompes entraînées par une turbine.

laire élevé. En particulier, les monergols et diergols où interviennent l'eau oxygénée retrouvent de ce point de vue, malgré leur pouvoir calorifique plus faible, un certain avantage tenant à la proportion élevée de vapeur d'eau éjectée en place de gaz lourds comme le gaz carbonique.

Telle est également l'explication de l'intérêt particulier porté à l'hydrogène, même et surtout s'il n'entre pas en combinaison. C'est la base de la proposition de Langmuir sur l'hydrogène atomique où l'on séparerait l'hydrogène moléculaire en deux atomes à l'aide d'énergie électrique, et où la recombinaison fortement exothermique sous forme moléculaire permettrait des vitesses d'éjection de 15 000 à 20 000 m/s. C'est également le principe d'utilisation de l'énergie nucléaire où l'on chaufferait de l'hydrogène ordinaire (moléculaire) à l'aide d'une pile.

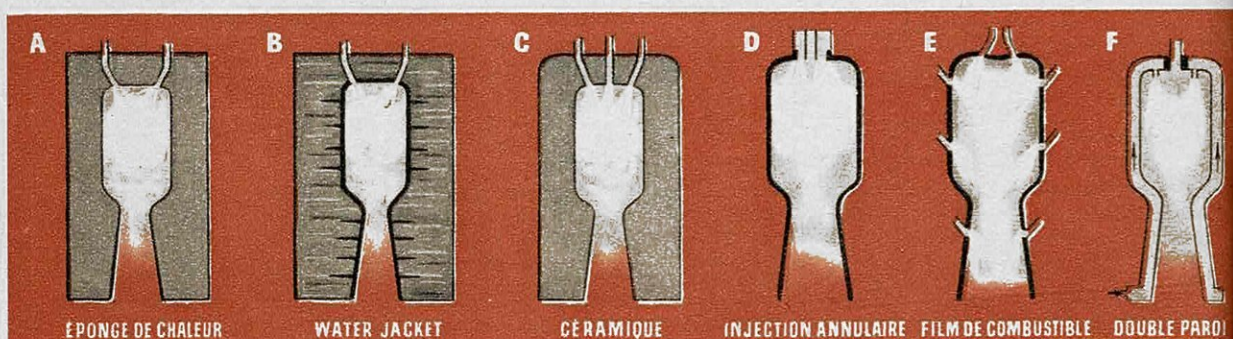
LA DENSITÉ

Malheureusement, en dehors des difficultés inhérentes à ces dernières réalisations, l'hydrogène, même utilisé comme combustible,

convient très mal pour la propulsion des fusées en raison de sa faible densité à l'état liquide.

Le pouvoir calorifique ou même la vitesse d'éjection n'intéressent le constructeur de fusées que dans la mesure où ils permettent d'atteindre une vitesse finale plus élevée. Or, si l'on emploie des comburants et combustibles légers, le « rapport de masse » de la fusée, c'est-à-dire le rapport entre la masse initiale de la fusée et sa masse finale quand toute la combustion est achevée, rapport dont on connaît le rôle essentiel, se rapproche de l'unité au détriment de la vitesse finale.

Le calcul a été fait depuis longtemps. On améliorerait la vitesse finale d'une V-2 en substituant à la propulsion par oxygène-alcool la propulsion par des produits plus lourds, tel que l'acide nitrique-alcool dont la densité moyenne est voisine de 1,25. Mais on la réduirait avec la combinaison oxygène-hydrogène de densité 0,25, malgré sa vitesse d'éjection très supérieure, parce qu'on ne pourrait en emporter que cinq fois moins. La différence est considérable; la vitesse de la V-2 ainsi



EPONGE DE CHALEUR

WATER JACKET

CÉRAMIQUE

INJECTION ANNULAIRE

FILM DE COMBUSTIBLE

DOUBLE PAROI

Dans un moteur-fusée pour liquides, la température des gaz est maximum entre l'arrière de la chambre et le col de la tuyère. C'est ce dernier, où les gaz prennent une vitesse supersonique qui croît encore dans la tuyère, qui subit les contraintes thermiques les plus fortes.

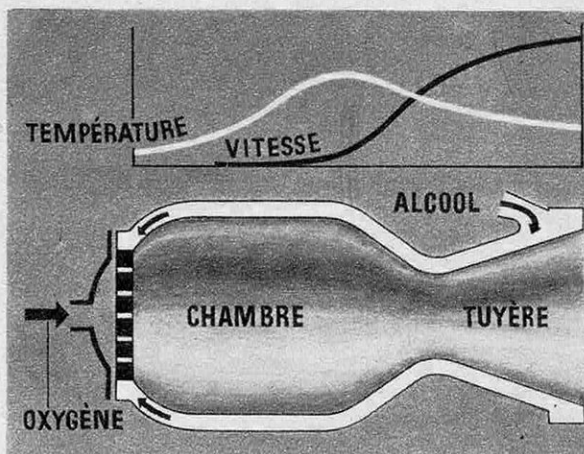
alimentée serait presque réduite de moitié par rapport à l'emploi d'acide nitrique.

Mais ne peut-on pas alléger la charpente et la mécanique de la fusée lorsqu'elle emporte des liquides plus légers? C'est bien difficile. Les efforts aérodynamiques restent les mêmes, les réservoirs seront faits en tôles et profils de même échantillon; le système d'alimentation, en poids mort comme en consommation, dépend du volume qu'il devra débiter et de la pression qu'il devra établir, mais non de la densité des produits qui le traversent; le corps de fusée prête à la même remarque. Finalement, le poids à vide dépend, en première approximation, du volume de l'engin et non de la densité des liquides dont on le remplit. C'est dire que l'hydrogène liquide de densité 0,07, supposerait-on résolu tous les difficiles problèmes de son transport et de son emploi, n'a aucune chance vis-à-vis des combustibles plus communs, de densité dix ou quinze fois plus élevée. On a même pu soutenir qu'il y avait là un obstacle insurmontable aux applications où l'hydrogène n'entre pas en combinaison, indépendamment des difficultés inhérentes à la réalisation des centrales électriques suggérées par Langmuir ou des piles atomiques fonctionnant à plusieurs milliers de degrés.

La question densité intervient davantage encore dans le choix du comburant, qui doit être emporté en quantité plus grande que le combustible. C'était la raison principale des recherches des techniciens de B. M. W. pour l'emploi des comburants genre acide nitrique, avec sa densité très élevée de 1,52. On avait même pu la porter à 1,62 par incorporation de peroxyde d'azote, et diminuer simultanément les consommations en volume de 6,5 % et en poids de 2,5 %.

LA PROPORTION DU MÉLANGE

Pour simplifier, on prend souvent comme base de calcul le pouvoir calorifique des produits entrant dans le mélange, en supposant la combustion complète. C'est là une approximation acceptable aux températures relativement faibles atteintes dans les chambres de combustion des turboréacteurs, abaissées par la présence de l'azote de l'air. Mais elle n'est pas permise aux 3 000° à 3 500°C qu'on atteint



ou qu'on espère des réactions les mieux adaptées à l'emploi d'oxygène liquide. Les variations de composition des gaz brûlés dans la combustion pétrole-oxygène montrent suffisamment qu'elle est très éloignée de la composition à basse température (voir fig. page 99).

Au reste, on ne doit pas croire que la proportion combustible-comburant qui donne la combustion complète, le mélange « stœchiométrique », deux volumes d'hydrogène pour un volume d'oxygène par exemple, est nécessairement la plus favorable. Ni le rapport du mélange stœchiométrique, ni le rapport de mélange donnant la vitesse d'éjection maximum, ni le rapport de mélange donnant le débit-volume le plus faible dont nous avons vu l'intérêt dans le paragraphe précédent, ne sont désirables, mais bien un rapport de mélange optimum donnant à la fusée la vitesse maximum.

Les différences peuvent être grandes, spécialement pour les combustibles fortement hydrogénés. C'est ainsi que, dans le cas de l'hydrogène et de l'oxygène où le rapport combustible à comburant du mélange stœchiométrique est de 12,5 %, on gagne plus de 500 m/s dans la vitesse d'éjection à relever ce rapport à 30 % en raison de l'abaissement du poids moléculaire moyen des gaz éjectés par un excès d'hydrogène. Mais on gagne beaucoup plus encore sur la vitesse finale de la fusée (un tiers environ) en réduisant le rapport à 6 %, en raison de la densité accrue du mélange sous l'effet d'un excès d'oxygène. L'hydrogène est un cas extrême en raison de sa densité particulièrement faible à l'état liquide, mais des variations du quart ou du tiers dans la quantité de combustible rapportée à celle du comburant peuvent être avantageuses.

L'ALIMENTATION

Des premières fusées à oxygène liquide jusqu'aux V-2, l'alimentation de la chambre de combustion en combustible et en comburant a fait une série de progrès qui l'ont amenée au stade actuel dont il paraît difficile de dépasser le rendement.

Pour alimenter la chambre à la pression élevée indispensable à son rendement, majorée

Ici, se trouvent réunis divers procédés pour permettre aux chambres de combustion de supporter sans dommage les hautes températures des gaz. En A : masse importante et grande conductibilité; en B : parois minces entourées d'eau; en C : revêtement céramique; en D : injection annulaire de combustible en excès; en E : formation d'un film de combustible sur les parois; en F : circulation de combustible dans une double paroi.

VUE EN COUPE DE LA « WASSERFALL »

● Le moteur-fusée de la « Wasserfall », projectile téléguidé à combustibles liquides, acide nitrique et gasoil, comporte un système d'alimentation très simple sans pompes avec réservoir sphérique d'azote sous pression.

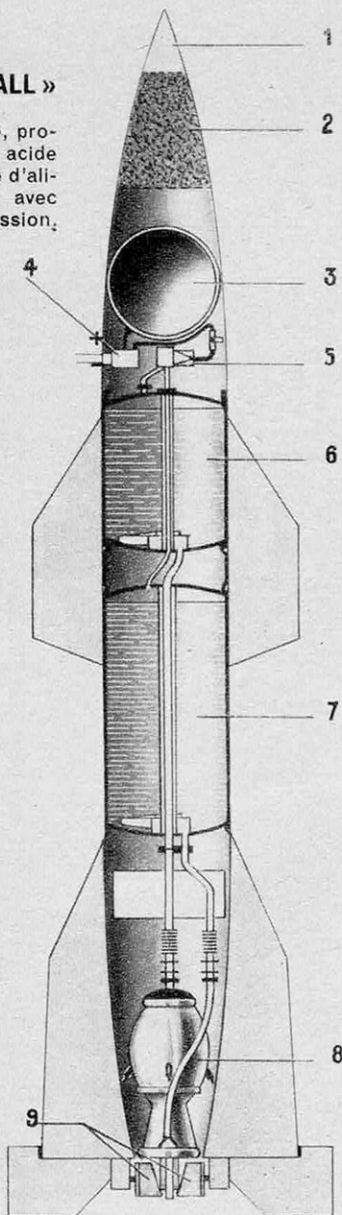
1. Tête chercheuse et détonateur.
2. Charge explosive de 250 kg.
3. Réservoir d'azote sous pression.
4. Membrane explosive du réservoir
5. Régulateur de pression.
6. Réservoir de carburant (gasoil).
7. Réservoir d'acide nitrique.
8. Chambre de combustion et tuyère.
9. Quatre déflecteurs de veine.

de la perte de charge nécessaire à une bonne pulvérisation, l'idée la plus simple est d'appliquer cette pression dans les réservoirs qui contiennent comburant et combustible. Si le premier est de l'oxygène liquide, on peut demander à sa vaporisation naturelle d'établir cette pression. On évitera la formation d'un mélange explosif au-dessus du combustible soit par interposition d'une couche d'huile non volatile, soit en enfermant le combustible dans une enveloppe souple. La figure page 100, inspirée de Burgess, indique cette disposition.

Elle ne se prête malheureusement guère à une alimentation régulière, puisqu'elle dépend de la température initiale et du réchauffement du réservoir à oxygène en cours de fonctionnement. Aussi, sur plusieurs des fusées de Goddard, comme sur un certain nombre des moteurs Walter, ajouta-t-on un troisième récipient contenant de l'air (ou de l'azote) sous pression qu'on envoyait dans les deux premiers. On a conservé ce principe sur la « Wac-Corporal » américaine, et sur les modèles réduits Vickers propulsés par fusée pour essais transsoniques.

Une disposition plus légère consiste à produire ce gaz sous pression par la combustion d'une poudre. Le procédé concurrençait déjà l'air comprimé dans plusieurs applications, tubes lance-torpilles à poudre, catapultes à poudre. Il était choisi pour l'alimentation de plusieurs projectiles-fusées radioguidés allemands de 1945, le « Wasserfall », le « Taifun ».

Mais, sur les fusées à liquides de fort tonnage, le dispositif des pompes de la V-2 s'imposera. Il permet en effet de loger comburant et combustible en réservoirs de construction légère, d'où on les reprend par des pompes à haute pression pour leur envoi dans la chambre de combustion ; l'économie sur le poids des réservoirs



voirs paye largement le supplément de poids dû à l'installation des pompes. La commande de celles-ci est généralement assurée par des turbines à vapeur, obtenue par la décomposition d'eau oxygénée (V-2).

CHAMBRES DE COMBUSTION ET TUYÈRES

La chambre de combustion, comme la tuyère convergente-divergente où les gaz de combustion prennent leur vitesse, doivent résister à la fois à la pression et à la température. Des deux, les contraintes thermiques l'emportent sur les contraintes mécaniques. La figure page 101 indique l'évolution de la température des gaz, qui atteint son maximum à l'extrémité arrière de la chambre de combustion et dans le convergent de la tuyère. Mais la température de la paroi dépend au moins autant de la vitesse des gaz qu'indique la même figure, si bien que la difficulté se fait surtout sentir au voisinage du col de la tuyère ; les parois, léchées par des gaz encore très chauds à grande vitesse, prendraient rapidement une température très élevée et seraient soumises à une érosion intense si l'on n'y portait remède.

L'idée la plus simple est de donner aux parois à la fois la conductibilité et la masse nécessaires pour l'absorption de la chaleur transmise. L'acier suffit

pour la chambre de combustion ; un métal à haute conductibilité, le cuivre par exemple, pour la tuyère. Ce principe, dit quelquefois de « l'éponge de chaleur », convient encore fort bien pour la plupart des applications militaires où l'on brûle pendant quelques secondes seulement une poudre donnant des gaz relativement froids, sortant par une tuyère de faible section.

Dès que la puissance et la durée de fonctionnement augmentèrent, on fit appel sur plusieurs fusées allemandes à des parois métalliques minces entourées d'eau, la chaleur spécifique de l'eau et sa conductibilité apparente due à la convection dépassant largement les caractéristiques correspondantes des métaux.

Les premières fusées de Goddard demandaient la résistance thermique à des corps réfractaires, dont certains, le graphite par exemple, étaient encore employés sur les volets d'orientation du jet de gaz des V-2. L'inconvénient des produits réfractaires, résis-

tant théoriquement à des températures qui peuvent atteindre plus de 3000°C, est leur sensibilité au « choc thermique » qui désagrège une masse peu conductrice chauffée trop rapidement pour l'égalisation des températures.

La protection des parois par une injection annulaire de combustible en excès sur le rapport de mélange stœchiométrique fut expérimentée dès 1937 en Amérique et en Allemagne. Un film suffisamment froid de combustible vaporisé mais non brûlé recouvre ainsi les parois de la chambre de combustion. Le même principe est appliqué aujourd'hui dans les

turboréacteurs, en inversant le rôle de l'air, qui est toujours en excès, et du combustible.

Mais il est difficile de protéger de la sorte les parois de la tuyère léchées par un mélange à grande turbulence. On y parvient en injectant localement l'excès de combustible par plusieurs orifices répartis sur les parois. On peut demander le même résultat à des métaux poreux.

La chambre de combustion et la tuyère de la V-2 ajoutent à l'emploi de ces deux principes celui d'une circulation à contre-courant du combustible dans une double paroi, qui sera certainement employé à l'avenir sur toutes les fusées à grande puissance.

Réussira-t-on à améliorer suffisamment le rendement thermique et les vitesses d'éjection pour simplifier dans une large mesure les problèmes astronautiques? Il est prudent de considérer que les progrès essentiels étaient acquis dès 1945. Nous avons essayé de dissiper quelques-unes des illusions basées sur le recours possible à des comburants et combustibles de pouvoir calorifique plus élevé et de poids moléculaire moindre, tels que l'hydrogène. Les calculs faits à partir d'autres réactions, sans tenir compte de l'état solide ou gazeux, où l'on éjectera de l'alumine ou de la magnésie sont également assez discutables.

Il semble donc qu'on devra attendre davantage de l'allègement constructif, qui permettra d'atteindre les vitesses finales élevées par relèvement du rapport de masse, que de vitesses d'éjection considérablement accrues.

Camille Rougeron.

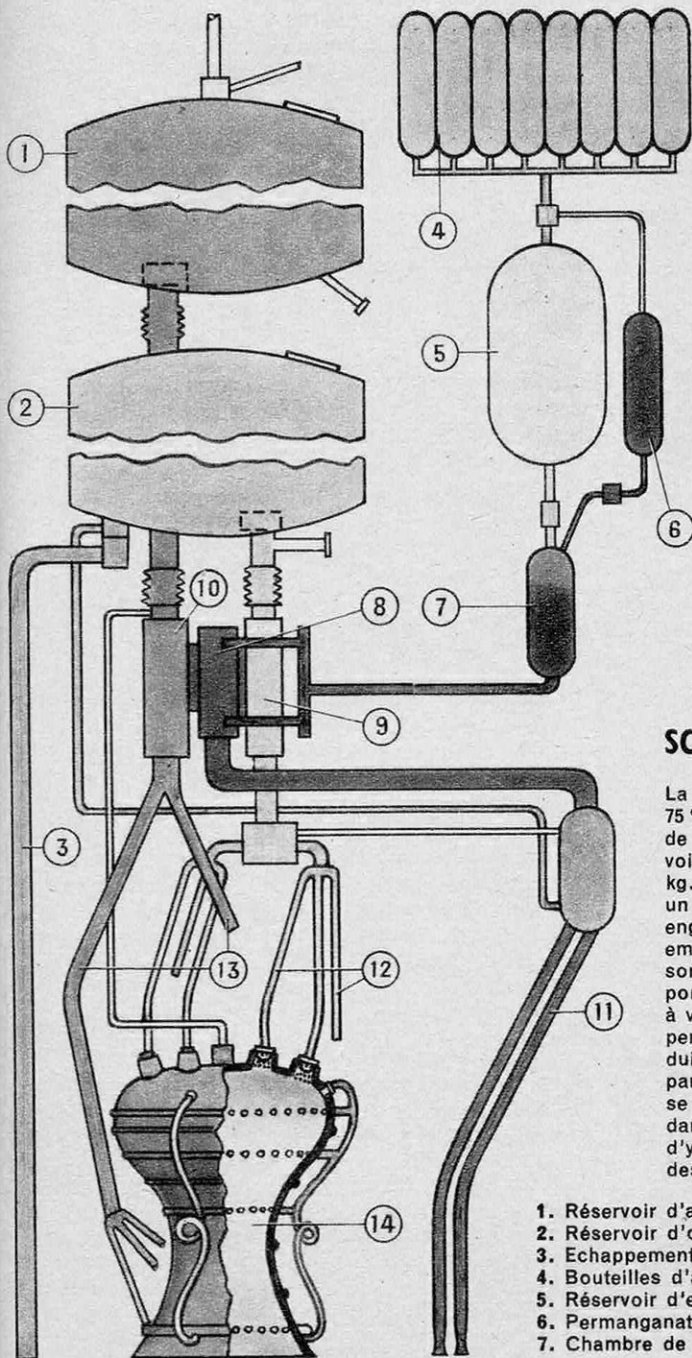
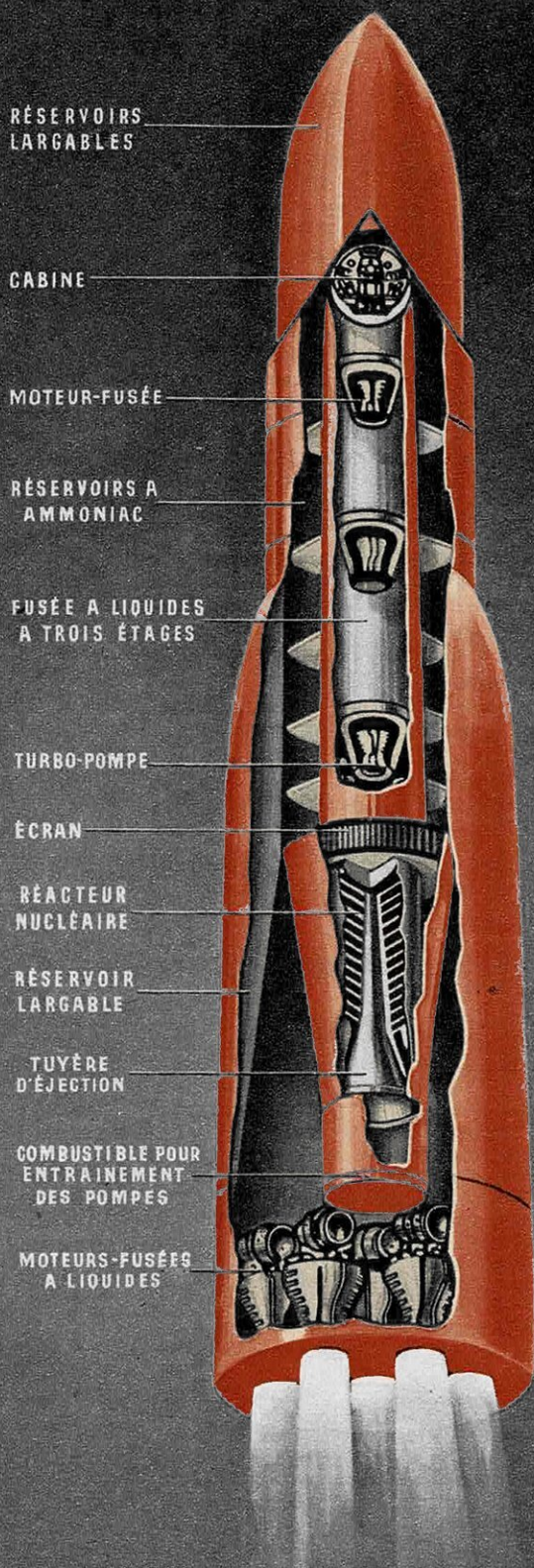


SCHÉMA DU PROPULSEUR DE LA V-2

La fusée utilise comme combustible un mélange de 75 % d'alcool et 25 % d'eau, et comme comburant de l'oxygène stocké sous forme liquide. Les réservoirs en contiennent respectivement 3 600 et 4 800 kg. Le réservoir d'alcool est en communication par un tube avec l'avant de la fusée afin que l'air qui s'y engouffre maintienne une pression suffisante pour empêcher les parois de s'affaisser. Les deux liquides sont envoyés à la chambre de combustion par des pompes centrifuges calées sur l'arbre d'une turbine à vapeur. Cette vapeur provient de la réaction du permanganate de calcium sur l'eau oxygénée, produits logés dans deux réservoirs mis sous pression par des bouteilles d'azote. Au fond de la chambre se trouvent 12 injecteurs d'oxygène. L'alcool circule dans une double paroi de la chambre-tuyère avant d'y accéder autour des injecteurs, ainsi que par des trous calibrés ménagés sur les parois.

- | | |
|------------------------------|--------------------------------|
| 1. Réservoir d'alcool. | 8. Turbine à vapeur. |
| 2. Réservoir d'oxygène liq. | 9. Pompe d'aliment. (oxygène). |
| 3. Echappement d'oxygène. | 10. Pompe d'aliment. (alcool). |
| 4. Bouteilles d'azote compr. | 11. Echappement de la vapeur. |
| 5. Réservoir d'eau oxygénée. | 12. Conduites d'oxygène. |
| 6. Permanganate de calcium. | 13. Conduites d'alcool. |
| 7. Chambre de vaporisation. | 14. Chambre de combustion. |

UN PROJET D'ASTRONEF A PILE NUCLÉAIRE



L'ASTRONEF

B IEN avant la mise au point des bombes et piles nucléaires, les pionniers de l'Astronautique, parmi lesquels R. Esnault-Pelterie dès 1913, avaient fondé tous leurs espoirs sur l'utilisation de l'énergie nucléaire pour réaliser des vitesses d'éjection pouvant atteindre jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres par seconde. De telles vitesses d'éjection permettraient certes d'accomplir, dans des délais acceptables, les missions astronautiques les plus audacieuses, les liaisons les plus lointaines. Malheureusement, les processus actuellement connus pour libérer l'énergie nucléaire sont mal adaptés aux besoins de l'autopropulsion. Pour le moment, il semble bien difficile, en effet, d'extraire l'énergie nucléaire sous forme d'énergie cinétique dirigée et, par conséquent, directement utilisable pour la propulsion.

Les fissions qui se produisent dans les piles font apparaître de l'énergie sous diverses formes : rayonnement électromagnétique (rayons gamma), énergie cinétique de particules élémentaires (protons, neutrons, hélions, électrons), qui sont émises avec une grande vitesse, et de fragments de noyaux.

Pour les applications astronautiques, les rayons gamma constituent un phénomène gênant, dont il faudra se protéger. Quant aux diverses émissions de particules matérielles ou de fragments de noyaux, elles se produisent uniformément dans toutes les directions de l'espace, et l'énergie cinétique des projectiles ne tarde pas à se dissiper dans la masse du combustible nucléaire, le « libre parcours moyen » des fragments nucléaires, en particulier, étant extrêmement réduit. Ce qui apparaît finalement comme énergie utilisable, c'est de la chaleur.

La façon la plus immédiate et la plus « classique » de concevoir la propulsion atomique d'un astronef consistera donc à employer le « combustible » atomique, dit encore « nucléogol », comme source de chaleur pour une fusée. Ce combustible étant précieux et déli-

← Cet engin, proposé par la Commission technique de la British Interplanetary Society comporte un réacteur nucléaire traversé par un courant d'ammoniac; son poids serait de 40 tonnes, sa poussée de 1100 tonnes et il fournirait une vitesse de 10 000 m/s. Il comporte en outre, pour la première phase du vol, un groupe de 7 moteurs-fusées, alimentés en oxygène et hydrogène liquides, et pour la dernière phase, une fusée à trois étages employant les mêmes propergols. Ces deux ensembles fourniraient chacun 4 000 m/s. Il est prévu un écran protecteur, pesant 20 tonnes, contre les radiations.

A PROPULSION NUCLÉAIRE

vrant assez lentement l'énergie qu'il renferme, on devra séparer de la matière éjectable cette source de chaleur.

PILE ET ÉCHANGEUR

Le plus évident des engins atomiques serait donc une fusée contenant un réacteur nucléaire et une réserve de fluide, matière éjectable ou « propulsif ». Le réacteur porterait à haute température, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un fluide auxiliaire, cette matière gazéifiée, puis par détente à travers une tuyère, ce « propulsif » atteindrait une vitesse d'éjection aussi élevée que possible. Cette fusée différerait, en somme, assez peu des fusées classiques à liquides, mais ici la source d'énergie et la masse éjectable seraient distinctes.

La séparation du « nuclergol » et du fluide éjectable présenterait d'ailleurs certains avantages. Elle permettrait, éventuellement, de n'emporter que la quantité de lest éjectable nécessaire pour un voyage aller, si la planète visitée offrait des possibilités de ravitaillement pour le voyage de retour.

Pour certains types d'autopropulseurs, il serait possible d'utiliser des « propulsifs » de masses spécifiques et d'état physique appropriés au mécanisme de l'éjection. Pour le choix du « propulsif » optimum, les auteurs de projets accordent en général la préférence à l'hydrogène (ou au deutérium pour ne pas « empoisonner » la pile) qui donne effectivement les vitesses d'éjection les plus grandes ;

mais compte tenu du facteur densité, c'est l'eau (ou mieux l'oxyde de deutérium, dit aussi « eau lourde ») qui paraît préférable.

L'accroissement de la masse spécifique de la matière éjectable permettrait en effet de diminuer l'encombrement des réservoirs, donc le poids mort et la masse initiale de l'astronef ; de plus, il en résulterait une réduction des dimensions de ce dernier, donc de sa « traînée » pendant la traversée des couches atmosphériques (avantage qui se conserverait même s'il était propulsé dans cette première phase par des éjecteurs à combustion classique).

Enfin, le troisième avantage de la séparation du « nuclergol » et de la masse éjectable est la possibilité de réchauffer les gaz éjectés au fur et à mesure de leur détente qui devient ainsi du type « isotherme ». Le rendement de la propulsion s'en trouve amélioré.

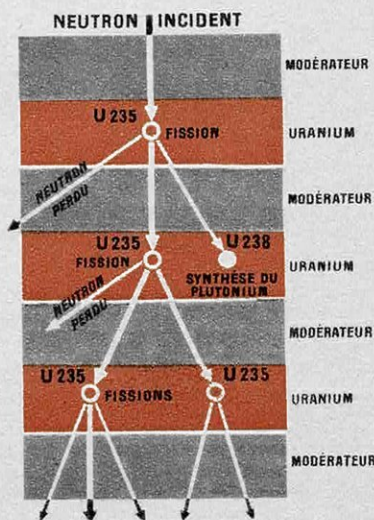
En regard de ces avantages, la présente formule offre certains inconvénients.

Remarquons tout d'abord qu'il est nécessaire d'emporter en même temps que la pile une énorme quantité de fluide éjectable pour obtenir un rapport de masse de l'astronef du même ordre qu'avec les combustibles chimiques. S'il était possible de brûler intégralement le nuclergol et d'éjecter les débris de la fission à la vitesse à laquelle se projette l'explosion nucléaire, on pourrait se contenter de rapports de masse beaucoup plus faibles.

En effet, la vitesse d'éjection est directement fonction de la température atteinte par le « propulsif ». Or, l'échangeur ne peut le porter

PRINCIPE D'UNE PILE NUCLÉAIRE

Une « pile » ou « réacteur » nucléaire est constituée par des blocs d'uranium alternant avec des blocs de « modérateur » solide (graphite), ou plongés dans un « modérateur » liquide (eau lourde). Toute l'exploitation de l'énergie nucléaire, sur le plan pratique, repose sur une réaction fondamentale : la fission de l'isotope de l'uranium dont le noyau groupe 235 particules (Uranium 235) sous l'action d'un neutron. L'énergie libérée est considérable, de l'ordre de 200 millions d'électronvolts par atome d'Uranium 235, soit 20 000 kWh par gramme d'uranium. La fission s'accompagne de l'émission de nouveaux neutrons qui peuvent assurer la propagation de la réaction « en chaîne » si les circonstances s'y prêtent, en particulier si la masse est assez grande pour que les neutrons qui s'en échappent soient en nombre relativement faible. En outre, l'uranium naturel comporte une forte proportion d'Uranium 238 très avide de neutrons pour une certaine valeur de leur vitesse, et qui ne subit pas la fission. Les neutrons rapides de fission perdent leur énergie dans le « modérateur », et en sortent à une vitesse inférieure à cette valeur critique, à l'état de neutrons « thermiques ».



SOURCES POSSIBLES D'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

Désintégration par particules artificiellement accélérées.

Désintégration par neutrons soustraits à une « pile ».

Réactions de fission par neutrons lents.

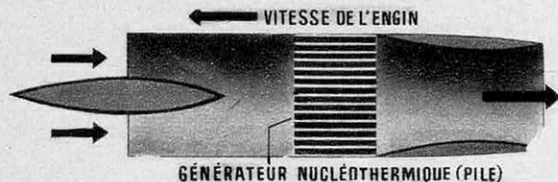
Réactions de fission par neutrons rapides.

Réactions thermonucléaires (type bombe « H »).

Désintégration de radioéléments naturels ou artificiels

qu'à une température inférieure à la température de fusion de ses propres parois, parois qui sont elles-mêmes à une température au plus égale à celle des régions les plus chaudes du générateur. Au mieux, ceci limiterait la température maximum du « propulsif » à quelque 2 500° K (degrés absolus, c'est-à-dire degrés centésimaux augmentés de 273) température atteinte couramment dans les chambres de combustion des fusées modernes.

Parmi les projets utilisant une pile comme générateur thermique, le plus clair et le plus simple paraît être celui de Shepherd et Cleaver (page 107) décrit dans leur important mémoire « The Atomic Rocket » qui a été publié dans le Journal of the British Interplanetary Society. Le projet du Dr Hsue-Shen-Tsien, figuré page 108, résout le problème des échanges calorifiques en faisant traverser le réacteur (uranium et modérateur) supposé poreux, par le fluide éjectable.



● Voici, d'après Kalitinsky, le schéma d'un statoréacteur nucléaire. Son fonctionnement suppose la présence d'une atmosphère même dépourvue d'oxygène permettant l'envol, l'atterrissage ou l'exploration de l'astre.

Dans ce projet, la surface d'échange est portée au maximum, le « propulsif », hydrogène stocké à l'état liquide, étant contraint de passer par la myriade de canaux microscopiques qui traversent des cônes poreux constitués par un agglomérat de graphite et d'uranium et dont l'ensemble constitue la pile génératrice. Cette disposition doit se payer par des pertes de charge très élevées et donc par un accroissement de la puissance des organes d'injection.

Par ailleurs, l'eau paraîtrait plus indiquée que l'hydrogène comme « propulsif ».

Enfin, il convient de souligner l'audace de ce projet dont l'échelle est à proprement parler vertigineuse : masse initiale de 1 560 tonnes, soit la masse de deux trains lourds de notre Europe ; débit d'hydrogène liquide de 3 tonnes/seconde ou 43 m³/s, ce qui représente le débit d'un cours d'eau déjà important, 160 millions de kW, puissance de 320 « Génissiat » !

LES PILES A NEUTRONS RAPIDES

Une pile nucléaire avec son modérateur et son uranium est une source d'énergie dont le poids ne favorise pas son emploi sur un astronave. Mais en enrichissant l'uranium en substances fissionables, on a pu réaliser des réacteurs atomiques plus légers, dans lesquels la chaîne des fissions est maintenue par des neutrons rapides, et qui n'ont pas besoin de modérateur.

Les réacteurs à neutrons rapides sont, en quelque sorte, des bombes à fissions fonctionnant au ralenti. Ils sont moins répandus que les piles (1), les renseignements qui les concernent sont rares et leurs propriétés sont beaucoup moins bien connues. Leurs caractéristiques semblent cependant être les suivantes :

— très grande légèreté et logeabilité du fait de l'absence de modérateur ;

— contrôle de la puissance développée rendu possible par l'existence des neutrons retardés, mais sans doute plus délicat que pour les piles classiques ;

— température de fonctionnement ne dépendant plus que de la seule matière fissionable ;

— protection contre les rayonnements un peu plus difficile, l'écran modérateur n'existant plus.

Ces réacteurs semblent appelés à un grand avenir pour la propulsion en général et l'auto-propulsion en particulier.

PROPULSEURS A « RADIERGOLS »

Sur un principe analogue à celui que nous venons de décrire, il a été proposé d'utiliser comme sources de chaleur dans une fusée, non plus un réacteur nucléaire, mais une masse de produits radioactifs artificiels, ou « radiergols », tels que ceux que les réacteurs nucléaires peuvent fabriquer en abondance. Dans leur désintégration spontanée, les atomes de radioéléments émettent de l'énergie sous forme de rayonnement gamma et d'énergie cinétique de la particule émise, hélium (rayon alpha) ou électron (rayon bêta), et cette énergie est relativement considérable. Lorsqu'un atome de Baryum 139, par exemple, se désintègre, l'électron émis a une énergie moyenne d'environ 1,2 MeV, (mégaélectronvolt), qui s'écrirait, avec une unité qui nous est plus familière, $5,34 \times 10^{-20}$ kWh. Or, dans un gramme de Baryum 139, il se produit environ 56×10^{16} désintégrations par seconde, ce qui correspond à une puissance de quelque 130 kW. Avec 1 kg de radioélément, on disposerait d'une puissance initiale de 130 000 kW. Nous disons bien une puissance « initiale », car suivant la loi de la désintégration radioactive, elle va en diminuant

(1) A notre connaissance, les deux seuls réacteurs de ce type sont : l'ALFA (Los Alamos Fast Reactor) utilisant le plutonium et d'une puissance de 100 kW (refroidi au mercure) ; l'E B R (Experimental Breeder Reactor de Arco, Idaho) utilisant l'uranium 235, avec réflecteur en uranium naturel, et ayant produit 100 kW de puissance électrique (transfert de chaleur par métal liquide).

avec le temps. Dans le cas du Baryum 139, dont la période est de 1 heure et demie, elle diminue de moitié en ce temps.

L'énergie libérée, qui se retrouve sous forme de chaleur, peut être utilisée pour le chauffage d'un « propulsif » suivant un principe analogue à celui des dispositifs dont nous avons parlé précédemment. Le gros avantage du « radiergol », est qu'il n'est pas nécessaire d'emporter un réacteur dont la masse est considérable. Il présente par contre l'inconvénient, non seulement de fournir une énergie régulièrement décroissante, mais aussi de ne pas permettre d'en régler le débit.

L'engin serait constitué en gros comme le propulseur Hsue-Shen-Tsien, mais comporterait toutefois des canaux beaucoup plus gros qui devraient être usinés, et dans lesquels une détente réchauffée pourrait s'effectuer complètement. Le radioélément imprègne les parois réfractaires de ces canaux et le « propulsif » prévu est naturellement de l'eau. En admettant une vitesse d'éjection de 3 000 m/s, la poussée initiale serait de l'ordre de 8 tonnes. Nous avons calculé ainsi qu'un engin pesant 4 tonnes au départ atteindrait au bout de 93 secondes une vitesse de 3 000 m/s (masse restante 1,48 t), au bout de 111 secondes, une vitesse de 4 158 m/s (masse restante 1 t) et au bout de 130 secondes, une vitesse de 6 240 m/s (masse restante 0,5 t) ; ces performances sont déjà d'ordre astronomique.

Les radioéléments (ou radiergols) seraient fournis par des « piles mères » fixes spécialement aménagées. D'après M. R. Daudel, chargé de cours à la Sorbonne, une telle pile serait susceptible de fournir, à titre de sous-produit, environ 0,2 atome de radiergol par fission se produisant dans son sein. Sa puissance serait naturellement considérable ; des calculs théoriques, dans le détail desquels nous ne pouvons entrer ici, montrent qu'elle devrait atteindre, dans l'exemple précédent, quelque 100 à 200 millions de kW, puissance qui serait d'ailleurs normalement utilisée pour alimenter une centrale électrique, par exemple.

Les sources de radioéléments ainsi créées auraient des activités se chiffrant par millions de curies, alors que les sources usuelles s'évaluent en millicuries (un curie correspond à 37×10^9 désintégrations par seconde). Il faudrait donc prendre de sérieuses précautions, mais l'on manipule déjà couramment des sources artificielles dont l'activité se chiffre par kilocuries (page 109). Bien entendu, l'activité au moment où l'on arrête la « pile-mère » doit être sensiblement plus grande que

celle sur laquelle sont fondés les calculs de la fusée. Comme nous l'avons vu, elle décroît en effet constamment et il faut tenir compte des délais d'extraction, traitement, chargement et autres opérations précédant le départ de l'astrotref.

En définitive, les caractéristiques de ce type de sources seraient les suivantes :

- puissances spécifiques considérables pour les éléments à courtes périodes (125 000 kW par gramme pour le Fluor 20, dont la période est de 70 secondes) et encore assez élevées pour les éléments à longue période (1,5 kW par gramme pour le Phosphore 32, de période 14 jours) ;

- choix des radioéléments limité à ceux dont la période est longue par rapport aux temps morts d'extraction, transport et chargement ; mais cette période ne doit cependant pas excéder exagérément la durée d'utilisation prévue, pour éviter le gaspillage de l'énergie résiduelle ;

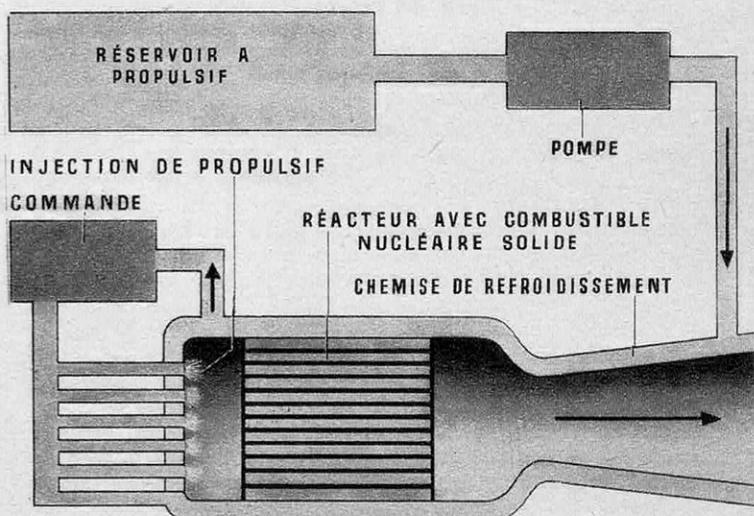
- impossibilité de contrôler la puissance développée, qui décroît inéluctablement avec le temps ;

- élimination presque totale de la protection pour certains radioéléments dont le rayonnement gamma est nul ou négligeable.

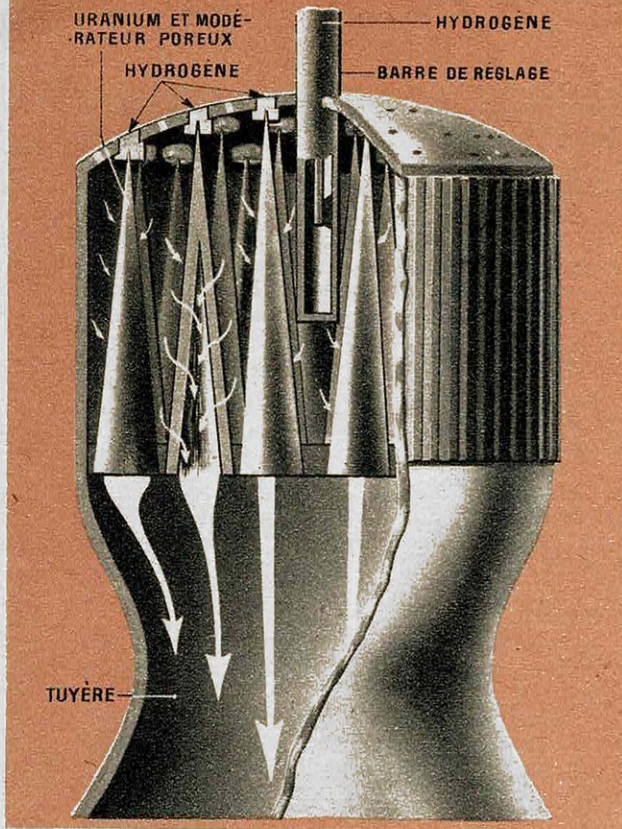
Les performances des propulseurs à radiergols tels que celui évoqué plus haut peuvent sembler modestes par rapport à la puissance des piles-mères. Mais il ne faut pas oublier que le radiergol ne serait qu'un sous-produit de cette dernière, qui d'ailleurs, tout en assurant son rôle normal de fournisseur d'énergie industrielle, pourrait fournir, dans le cas du Baryum 139, le chargement d'un nouvel engin toutes les 5 heures environ.

PROPULSION NUCLÉAIRE ET POSTCOMBUSTION

Les autopropulseurs « thermonucléomoléculaires » dont l'idée, toute récente, est due à M. Max Serruys, professeur au Conservatoire



Ce schéma de propulseur nucléaire à échangeur est dû à Shepherd et Cleaver. Le propulsif circule autour de la tuyère et du réacteur et refroidit les parois avant injection à l'arrière du réacteur dans lequel il va être porté à haute température.



FUSÉES NUCLÉAIRES HSUE - SHEN - TSIEN

Enrichissement ...	U235, U238 = 1,10	U235, U238 = 1
Diamètre de la pile .	5 m	3,75 m
Longueur de la pile.	2,5 m	1,9 m
Poidstotal d'uranium	33 t	16 t
Poids d'uranium 235	3,3 t	8 t
Flux d'hydrogène ..	3 150 kg/s	1 500 kg/s
Poussée	2 600 t	1 250 t
Puissance	1,6.10 ⁸ kW	0,76.10 ⁸ kW
Masse initiale	1 560 t	750 t
Masse d'hydrogène.	1 246 t	601 t
Durée de fonction- nement.....	358 s	358 s
Vitesse maximum ..	8 145 m/s	8 145 m/s

● Le tableau indique les caractéristiques de deux fusées nucléaires utilisant un mélange poreux d'uranium enrichi en isotopes 235 et de modérateur, en forme de cônes traversés par de l'hydrogène, qui serait porté à une température que l'auteur estime à quelque 6 000°. On voit que la fusée serait d'autant plus légère, à performances égales, que la concentration du « combustible » en uranium 235 serait plus grande, le poids initial passant de 1560 à 750 tonnes quand le rapport des isotopes 235 et 238 passe de 1/10 à 1. Dans les deux cas envisagés, la durée de fonctionnement prévue est de 358 s, et la vitesse finale de la fusée devrait dépasser 8 000 m/s.

National des Arts et Métiers et à l'École Centrale des Arts et Manufactures, utiliseraient un générateur nucléaire pour échauffer séparément et à la plus haute température possible, soit environ 2 500° K, un combustible et un comburant classiques. L'affinité des atomes d'oxygène (O) et d'hydrogène (H) reste suffisante à des températures de cet ordre pour qu'il soit possible de gagner encore quelque 1 000° par formation de radicaux OH. Le « propulsif » serait ainsi porté à 3 500° environ, ce qui procurerait un gain de l'ordre de 20 % sur la vitesse d'éjection maximum que permettrait de réaliser un autopropulseur simplement nucléothermique.

LES PILES SANS ÉCHANGEURS

Dans les autopropulseurs de ce type, la conversion en chaleur de l'énergie cinétique des particules de fission doit s'effectuer au sein même du « propulsif » auquel un corps fissile serait intimement mélangé. Le « propulsif » pourrait ainsi acquérir une température nettement supérieure à celle des parois de la chambre de réaction, ce qui permettrait d'obtenir des vitesses d'éjection plus grandes que celles envisagées précédemment : ainsi, en supposant que cette température maximum puisse avoisiner 5 000° K, les vitesses deviendraient 1,4 fois plus grandes, toutes choses égales d'ailleurs.

Pour que l'énergie cinétique ne se dégrade pas dans la masse même du nucléogol, ce dernier devrait être utilisé en lames minces ou, mieux, sous une forme très divisée, voire même gazeuse.

Un schéma d'un tel engin dû à Shepherd et Cleaver est représenté (page 111).

L'ensemble du « nucléogol » et du « propulsif » présents dans l'éjecteur constitue une pile génératrice dont le « propulsif » serait le « modérateur » ; la difficulté évidente est d'atteindre la masse critique. Avec l'uranium, il faudrait pour cela envisager de fonctionner à pression très élevée (100 kg/cm²) dans des appareils de dimensions considérables (diamètre de chambre de l'ordre de 100 mètres !) Comme l'écrivent les auteurs, « le seul espoir semblerait résider dans la découverte de réactions nucléaires à conditions critiques beaucoup plus favorables, possibilité qui ne peut être exclue ».

Une fusée à « radiogol » sans échangeur pourrait être conçue selon le schéma figuré p. 111 ou selon le dispositif à noyau, plus ramassé, représenté à la même page.

L'eau, utilisée comme « propulsif », serait injectée sous pression et à l'état liquide dans la jupe de l'éjecteur dont les parois réfractaires seraient enduites d'une mince couche d'un radioélément, réfractaire lui aussi. Dans la tunique, l'eau serait chauffée, vaporisée et surchauffée jusqu'à quelque 2 000° K au contact des parois portées au rouge par l'émission bêta et gamma de la face en regard de l'enduit radioactif. (En toute rigueur, cette première phase comporterait donc un échangeur).

Dans l'éjecteur même, la température de la vapeur s'élèverait jusque vers 4 500° K, et serait maintenue pendant la détente aux environs de cette valeur, grâce à l'émission de l'autre face de l'enduit ; la température de ce

dernier, comme celle de la paroi, n'atteindrait cependant pas $3\,000^\circ\text{K}$ du fait de la « réfrigération » de l'autre face par un fluide dont la température ne dépasserait nulle part $2\,000^\circ\text{K}$.

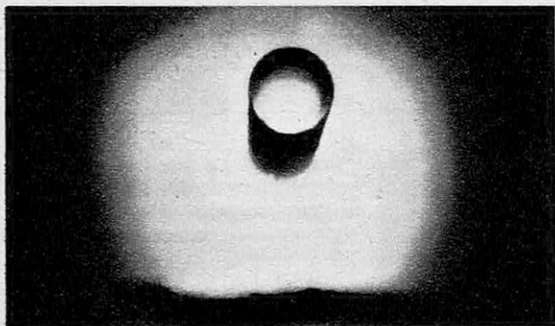
LES FUSÉES « H »

On sait que l'énergie dégagée au sein des étoiles, et en particulier du Soleil, est de l'énergie nucléaire, mais d'un type différent de celle qui apparaît dans les piles ou dans les bombes. La réaction qui se produit dans ce cas est une « fusion » et consiste en la condensation de noyaux d'éléments légers en noyaux plus lourds, par exemple la condensation de noyaux d'hydrogène en noyaux d'hélium. Ces réactions ne se produisent — heureusement — pas dans les conditions normales, mais exigent des températures et des pressions énormes. Malgré certaines informations sensationnelles, concernant la mise au point de la bombe « H », les réactions thermonucléaires ne semblent pas avoir été déjà reproduites sur la Terre, d'une manière continue et entretenue. Il ne suffit pas en effet de porter un point de la masse susceptible de réagir à une température extrêmement élevée ($500\,000$ à $2\,000\,000^\circ$), mais il faut amorcer la réaction dans un volume suffisant pour que la puissance dégagée l'emporte sur la puissance dissipée par le rayonnement calorifique de la masse allumée.

Comme « allumette », on peut envisager une bombe à fission (1), des ondes de choc provoquées par des détonations ou des « charges creuses » ou encore la « chaleur synthétique » produite par des champs électromagnétiques vibrant de manière à mettre en état d'agitation un « plasma » fortement ionisé.

Quant au choix de la réaction, choix d'ailleurs très restreint, il doit être guidé par la recherche de la plus grande vitesse de réaction et non du plus grand dégagement d'énergie. A ce point de vue, malheureusement, il semble bien que seules les réactions où intervient le tritium (isotope de masse 3 de l'hydrogène) soient assez rapides pour qu'on puisse espérer pouvoir

(1) Du moins pour une bombe H car, pour un propulseur, ce serait évidemment le pavé de l'ours !



● Une source de radiotantale de 1 kilocurie rayonnant dans un tube d'acier avant d'être placée sous plomb. On voit ici l'extrémité du canal où sont placés les matériaux à irradier dans la pile nucléaire de Brookhaven.

les amorcer artificiellement un jour : malheureusement, disons-nous, parce que le tritium est rare et hors de prix.

Le produit de telles réactions serait un mélange de neutrons et de noyaux d'hélium (particules alpha) animés de vitesses considérables et leur énergie cinétique serait sans doute dégradée aussitôt en chaleur par freinage au sein de la masse, puis dissipée par un rayonnement thermique particulièrement intense.

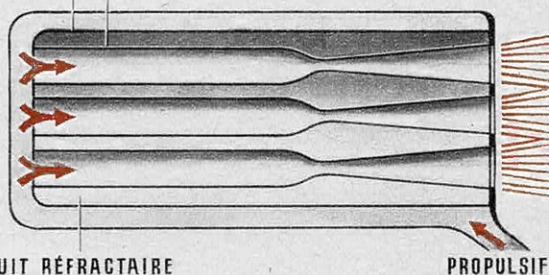
En résumé, les caractéristiques de ce type de sources seraient probablement :

— température de fonctionnement très élevée ;

— masse en cours de réaction ne pouvant sans doute tomber en dessous d'une certaine limite ;

— conséquence des deux précédentes : fonctionnement en émission discontinue ;

RADIOÉLÉMENTS SUR LES PAROIS



● Ce schéma montre comment pourrait être constitué un éjecteur nucléothermique à radiogol. Le radioélément imprégnerait les parois réfractaires des canaux et le propulsif (eau) y subirait une détente réchauffée.

— émission intense de neutrons.

Il n'est guère possible actuellement, de préciser davantage.

Si elles sont mises au point un jour, les réactions thermonucléaires ne sauraient guère être utilisées, pour l'aéronautique, que dans des autopropulseurs du type précédent, sans échangeur, en raison de l'énormité des températures mises en jeu.

Mais, à l'heure actuelle, ce serait faire preuve d'une imagination plus qu'excessive qu'essayer d'établir un schéma quelconque d'un tel autopropulseur.

L'UTILISATION DIRECTE DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE DES PARTICULES NUCLÉAIRES

Dans les propulseurs que nous avons envisagés jusqu'ici, on se résignait à transformer en chaleur l'énergie cinétique des fragments projetés par les réactions nucléaires, fissions ou désintégrations radioactives, et à la retransformer avec un rendement plus ou moins satisfaisant en énergie cinétique dirigée.

Certains auteurs se sont demandé s'il ne serait pas possible d'exploiter directement l'éjection des particules ou des fragments nucléaires.

ISOTOPES POUVANT SERVIR DE RADIERGOLS

Elément	Période	Energie émise		Elément primitif
		β	γ	
Fluor 20	72 s	5	2,2	Fluor 19
Sodium 24 ...	14,8 h	1,4	2,8	Sodium 23
Aluminium 28.	2,3 mn	3	1,8	Aluminium 27
Phosphore 32.	14,3 j	1,7	0	Phosphore 31
Vanadium 52 .	3,8 mn	2,35	1,4	Vanadium 51
Cuivre } 64 ..	12,8 h	0,6	1,35	Cuivre } 63 (70 %)
Rubidium } 86	19,5 j	1,6	0	Rubidium } 85 (73 %)
Iode 128.....	25 mn	2	0,4	Iode 127
Baryum 139 ..	1,5 h	2,3	1	Baryum 138 (72 %)
Polonium 210.	140 j	5,3(α)	0,8	Bismuth 210 obtenu à partir du Bismuth 209

Sous sa forme la plus simple, l'autopropulseur se composerait simplement d'un bloc massif de grandes dimensions, lié à l'astronef, et qui recevrait sur sa face arrière une partie des éclats d'une série de « microbombes » nucléaires explosant successivement, l'impulsion de ces éclats étant ainsi communiquée à l'engin.

Mais, outre que de telles microbombes restent encore à réaliser (et ne le seront peut-être jamais), leurs éclats ne pourraient communiquer leur impulsion au bloc qu'à condition d'être absorbés par ce dernier (1) qui, de ce fait, subirait un échauffement considérable ; en admettant que la vitesse des fragments fût de l'ordre de 12 000 km/s, l'entretien d'une poussée de 1 tonne dégagerait dans le bloc une puissance calorifique de 80 millions de kW.

C'est d'un principe analogue que procède le projet de G. Gamow publié dans son ouvrage « Atomic Energy in Cosmic and Human Life » (Cambridge Univ. Press) et relaté par R. L. Shepherd et A. V. Cleaver dans l'important mémoire déjà cité.

Dans ce projet, qui nous ramène curieusement aux temps anciens des « mangeurs d'écoutes », le propulseur serait constitué par une voilure radioactive, les « voiles » étant enduites sur une

(1) Il n'existe pas en effet, à notre connaissance, de corps susceptibles de réfléchir les fragments, (ce qui aurait d'ailleurs l'avantage de doubler l'impulsion communiquée à l'astronef).

face d'une très mince couche d'émetteur alpha. C'est en gros le système précédent, où le bloc est remplacé par des voiles qui héritent de tous ses inconvénients, atténués toutefois pour des raisons suivantes :

— vitesse des particules égale à 5 000 km/s au lieu de 12 000 ;

— grande surface de rayonnement pour évacuer la chaleur parasite ;

— très faible poussée par unité de surface.

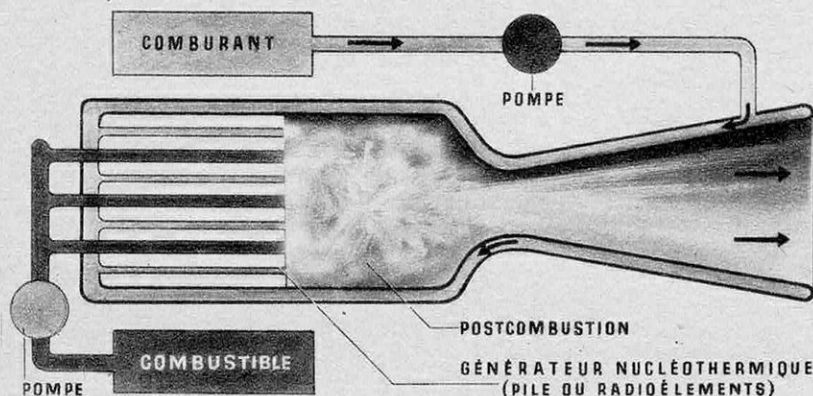
Ce dernier point ôte tout intérêt au système, car la masse de la voilure, à elle seule, suffirait pour abaisser l'accélération à des valeurs ridiculement petites.

Tel les anciens voiliers, l'astronef devrait se conduire en orientant convenablement les voiles, l'émission radioactive étant incontrôlable par nature. Il ne pourrait toutefois être question de charger lesdites voilures, la concentration de l'émission résultant de cette manœuvre devant provoquer inmanquablement leur destruction.

On pourrait songer à substituer au bloc massif ou aux « voiles » de Gamow un « matelas » liquide continuellement renouvelé, la vapeur surchauffée ainsi produite étant éjectée par une tuyère et contribuant ainsi à la propulsion. Mais un calcul élémentaire montre immédiatement que cette participation constituerait en fait la quasi-totalité de la poussée ; limitant en effet à 5 000° K la température de la vapeur surchauffée, ce qui serait déjà énorme, le débit-masse du matelas devrait être 4 millions de fois plus grand que celui des microbombes et l'impulsion correspondante serait alors près de 3 000 fois plus grande que celle due aux éclats.

Au lieu des hypothétiques « microbombes » dont nous avons parlé plus haut, M. Ducrocq (1) a imaginé de soumettre une couche mince de noyaux de plutonium à un bombardement de neutrons thermiques susceptibles d'en provoquer la fission. Les fragments nucléaires éjectés vers l'arrière propulseraient l'engin par réaction. Quant aux fragments projetés vers l'avant de l'astronef (fragments porteurs de charges électriques positives), ils seraient renvoyés vers l'arrière par un réflecteur électrostatique porté à un très haut potentiel positif.

(1) Rapport au 3^e Congrès de l'Aviation française.



CHAMBRE A POSTCOMBUSTION

Le schéma de ce propulseur dérive directement de celui d'un propulseur thermonucléaire à échangeur. Il suffit en effet de compléter ce dernier par une chambre où entrent en réaction un comburant et un combustible déjà portés à haute température par la traversée du générateur nucléothermique. Ce dernier peut d'ailleurs être indifféremment un réacteur nucléaire utilisant l'énergie de fission ou un générateur à radiergol exploitant la désintégration de radioéléments artificiels fabriqués dans une pile.

Restent à trouver le générateur électrostatique et la source de neutrons ; les neutrons sont produits par une pile dans l'enveloppe de laquelle une ouverture permet l'évasion des neutrons thermiques. Quant au champ électrostatique, il est entretenu par un générateur qui emprunte son énergie à un groupe turbocompresseur actionné par la pile.

Plusieurs objections pourraient être faites à ce sujet. Nous remarquerons seulement que les fissions qui se produisent dans une pile n'engendrent guère, en moyenne, qu'un demi-neutron thermique disponible à l'extérieur de la pile pour une fission dans la pile. Même en supposant que chacun de ceux-ci provoque une fission dans la masse de plutonium irradié, chaque kWh produit dans le propulseur impliquerait la formation de 2 kWh de chaleur dans la pile, donc la nécessité d'évacuer cette chaleur. Mais en réalité le rendement serait très inférieur du fait en particulier, qu'on n'a

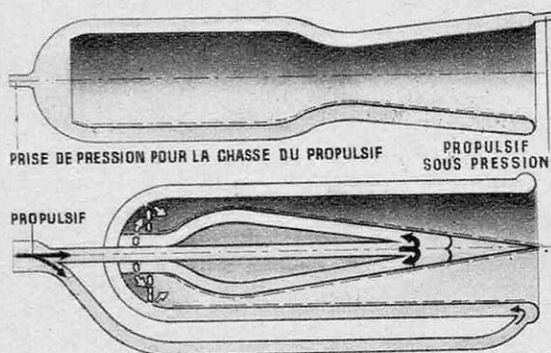
de 1 tonne (quelques kg d'un mélange d'uranium 238 et 235 et 1 000 kg de graphite).

Quant au réflecteur, il serait immédiatement déchargé par les électrons des atomes dont les noyaux ont subi la fission.

Enfin, le fonctionnement de la turbine du générateur électrique mue par un fluide (hélium) circulant en circuit fermé, poserait le problème de la source froide : l'évacuation d'une grande quantité de chaleur dans cet excellent isolant thermique qu'est le vide paraissant présenter quelque difficulté.

LES GÉNÉRATEURS « ÉLECTRONUCLÉAIRES »

Le principe d'un générateur électronucléaire à fission, destiné à transformer directement l'énergie de fission en énergie électrique a été exposé en 1946 (1). Il est représenté page 112. L'uranium est disposé selon un empi-



SCHEMAS DE PROPULSEURS A RADIERGOLS

Les parois réfractaires seraient enduites d'une couche mince d'un radioélément également réfractaire, de sorte que l'ensemble pourrait supporter des températures très élevées. Le premier dispositif serait particulièrement simple, le second, à noyau, moins encombrant. Le propulsif employé serait de l'eau injectée dans les doubles parois où elle serait vaporisée et surchauffée avant d'accéder à l'éjecteur proprement dit. La détente entre les parties brûlantes de la tuyère serait une détente réchauffée d'un excellent rendement, grâce à l'émission de l'enduit radioactif qui les recouvrirait. La température de la vapeur d'eau pourrait atteindre une valeur de l'ordre de 4500° K.

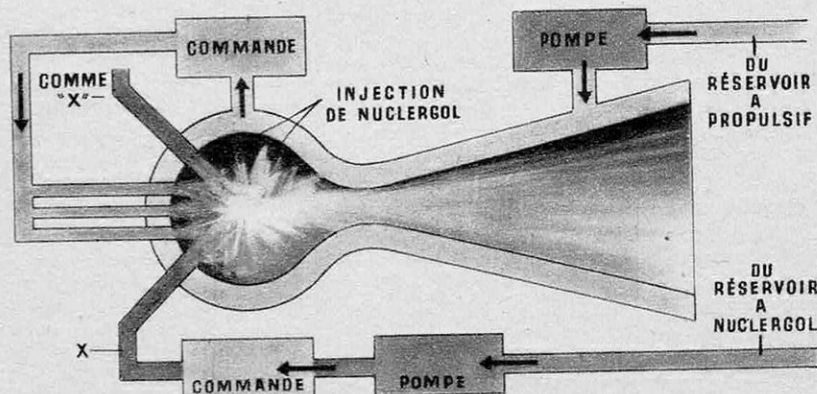
aucun moyen de diriger les neutrons. L'énergie dégagée dans le plutonium ne serait ainsi qu'une petite fraction de celle de la pile et le propulseur envisagé ne pourrait donc être utilisé que comme dispositif d'appoint. D'autre part, une fraction extrêmement importante de cette énergie serait dissipée dans le plutonium.

La température à laquelle la pile peut fonctionner sans être détruite ne peut guère s'élever au-dessus de 2500° K, ce qui limiterait la puissance de l'engin. La poussée serait donc faible, eu égard au poids ; les piles à modérateur ont en effet une masse minimum de l'ordre

de 1 micron d'épaisseur environ, enfermé dans une enceinte où une pompe moléculaire entretient un vide très poussé ; les parois de cette enceinte sont en plomb et épousent la forme des disques ; un modérateur complète la « pile ».

Le fonctionnement serait en gros le suivant : Les fragments de noyau, absorbés par le plomb de la paroi, chargent positivement cette

(1) L'atome, source inépuisable d'énergie. Bulletin d'Information technique et scientifique de la section technique de l'Armée (avril 1946).



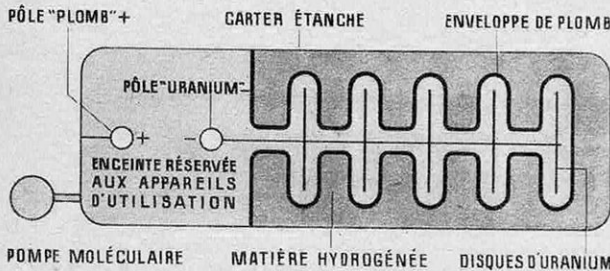
TYPE SANS ÉCHANGEUR

Ici le nucléergol, représentant la matière fissible, et le propulsif sont injectés en proportions convenables dans la chambre de réaction. Le propulsif est appelé à jouer le rôle du modérateur d'une pile nucléaire. L'énergie de fission est transformée directement en chaleur dans la masse du propulsif qui se trouverait ainsi porté à très haute température et acquerrait à l'éjection une vitesse considérable (d'après Shepherd et Cleaver).

paroi tandis que les électrons périphériques de l'atome, pratiquement non entraînés, chargent négativement l'empilement des disques. Il en résulte rapidement une différence de potentiel importante entre les armatures de cette sorte de condensateur.

À partir d'un certain moment, les fragments finissent par ne plus pouvoir atteindre l'autre armature et ils retombent vers les plaques qu'ils traversent et retraversent en les échauffant; cet échauffement ne tarde pas à provoquer l'émission thermoionique des électrons de ces plaques et ce courant de fuite maintient la différence de potentiel à une valeur voisine de 2,4 millions de volts.

Si un circuit utilisateur bien adapté est branché entre les bornes, la différence de potentiel reste en permanence légèrement en dessous de cette valeur et les seules causes d'échauffe-



● **Projet de générateur électronucléaire destiné à transformer l'énergie de fission de l'uranium en énergie électrique. Ce dessin très schématique montre une sorte de « pile » avec des disques d'uranium épais de 1 micron.**

ment seront le freinage des neutrons dans le modérateur, la radioactivité des fragments absorbés par le plomb et le freinage, dans les disques, des fragments émis dans leur plan et dans des directions voisines.

Ce dégagement de chaleur est d'ailleurs loin d'être négligeable et le schéma devrait être complété par un dispositif réfrigérant facile à concevoir pour le modérateur et le plomb, mais beaucoup moins évident pour l'uranium, étant donné l'extrême minceur des plaques de l'empilement.

Sur un principe assez analogue, les Américains Germant et Archer ont, les premiers, songé à utiliser l'énergie des radioéléments en la transformant directement en énergie électrique.

Comme dans le générateur électronucléaire à fissions que nous venons de décrire, le principe consiste à utiliser l'énergie cinétique des particules électriques émises (électrons dans le cas de radioéléments bêta) pour charger un condensateur à un potentiel très élevé, puis pour en entretenir la charge tandis que ce dernier débite dans un circuit d'utilisation adapté aux très hauts potentiels développés : 1 million de volts ou davantage.

En principe, le dispositif pourrait être très simple : l'une des armatures serait une grille cylindrique constituée par un fil de

« bétergol » (on pourrait appeler ainsi un élément émetteur de rayons bêta) pur ou allié, fil suffisamment fin pour qu'il ne s'y dégage qu'une quantité de chaleur négligeable; l'autre armature serait constituée par un cylindre métallique. La grille se chargerait positivement et les électrons arriveraient sur la plaque chargée peu à peu négativement avec une vitesse de plus en plus faible; la chaleur dégagée par freinage dans la plaque serait donc limitée; à partir d'une certaine valeur, les électrons ne peuvent plus parvenir à la plaque et retombent sur la grille entre les mailles de laquelle ils oscillent jusqu'à ce qu'ils finissent par être freinés dans le fil radioactif en l'échauffant. Lorsqu'on fait débiter le condensateur dans un circuit d'utilisation, la charge de la plaque baisse et les électrons l'atteignent à nouveau; la charge du condensateur est ainsi entretenue malgré le débit, du moins tant que ce dernier n'atteint pas la valeur de saturation. En réalité, le fonctionnement se trouve compliqué du fait que le rayonnement bêta n'est pas monocinétique, c'est-à-dire que tous les électrons ne sont pas émis avec la même vitesse. Ils forment ce qu'on appelle un « spectre continu », limité cependant à une valeur bien déterminée correspondant à un maximum d'énergie des corpuscules.

Pour tenir compte de ce fait, et comme l'a d'ailleurs fait remarquer l'Ingénieur Général des Poudres Fauveau, on peut songer à remplacer la plaque par une série de grilles maintenues respectivement à des potentiels échelonnés entre zéro et la valeur maximum; l'énergie électrique serait captée entre les bornes successives.

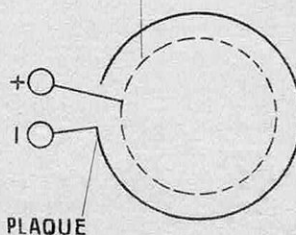
Certains émetteurs alpha, comme le Polonium 210, possèdent un rayonnement rigoureusement monocinétique et, de ce fait, se prêteraient facilement, en principe, à la transformation directe de leur rayonnement en énergie électrique.

Le Polonium 210 pourrait d'ailleurs être obtenu artificiellement à partir du Bismuth 209 qui donne du Bismuth 210 radioactif qui se transformerait en Polonium 210, la période de cette transformation étant de l'ordre de 5 jours.

LES PROPULSEURS IONIQUES

Les générateurs électronucléaires, transformant directement en énergie électrique l'énergie des réactions de fissions ou de désin-

GRILLE PORTANT LE RADIOÉLÉMENT



● **Schéma de principe d'un dispositif proposé pour transformer l'énergie cinétique des rayons bêta d'un radioélément en énergie électrique : il comporte essentiellement une grille cylindrique faite d'un fil de radioélément et une autre armature métallique destinée à recevoir les électrons.**

LE PROPULSEUR A. DUCROCQ

Ce moteur utiliserait directement la réaction due à l'éjection des fragments de fission de noyaux de plutonium, dirigés vers le bas par un réflecteur électrostatique. Les neutrons engendrant les fissions dans le plutonium seraient fournis par une pile nucléaire auxiliaire à uranium et graphite. La charge du réflecteur serait entretenue par un générateur entraîné par une turbine à hélium. Ce dernier gaz assurerait le refroidissement de la pile nucléaire qui porterait sa température entre 1 000 et 1 200°C.

tégrations radioactives, seraient beaucoup plus légers que les générateurs utilisant l'énergie thermique d'une pile dans un groupe électrogène. Ils pourraient donc servir, à bord d'un astronef, à actionner des accélérateurs de particules électrisées.

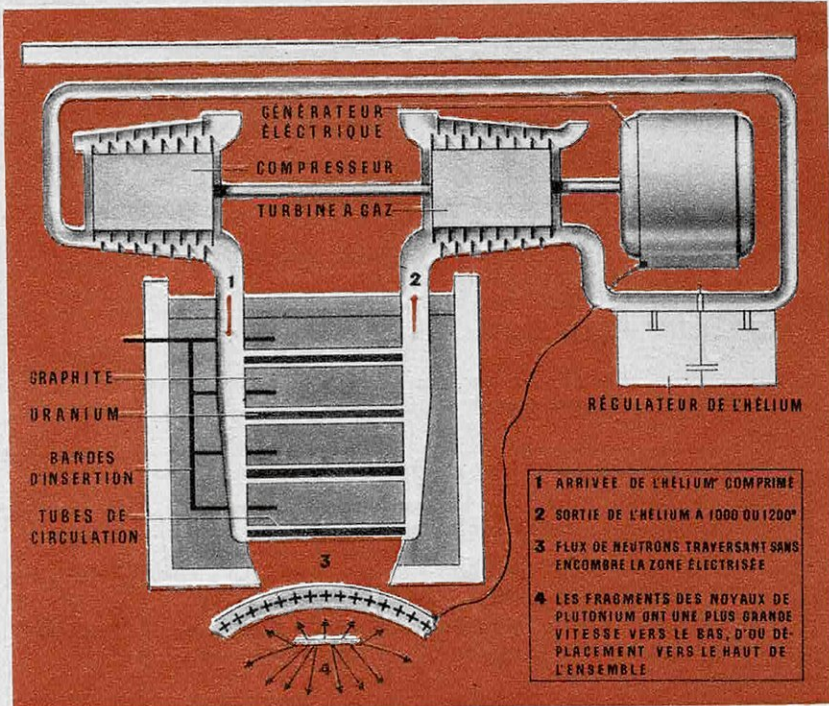
Sauf fait nouveau imprévisible, les désintégrations obtenues par bombardement de la matière à l'aide de particules accélérées semblent devoir rester sans intérêt pour l'astronautique. Le rendement du bombardement d'une « cible » par des particules est en effet si faible que l'accélération de ces corpuscules consomme une énergie hors de proportion avec l'énergie nucléaire libérée (par exemple, dans le rapport de 100 000 à 1 pour le bombardement du lithium par les deutons).

Mais rien ne s'oppose, en principe, à ce que l'on utilise directement les particules accélérées pour la propulsion.

Pour établir un schéma d'autopropulseur ionique (ou « électronucléaire »), il suffit de brancher un accélérateur de particules aux bornes des schémas de générateurs donnés plus haut.

Dans le cas d'un autopropulseur à « radiergol », la matière à éjecter, liquide ou pulvérulente, serait acheminée, à l'état neutre, par une canalisation isolée vers l'électrode éjectrice, reliée électriquement à l'armature radioactive : les particules se chargeant positivement à la surface de l'électrode, seraient ensuite accélérées par les électrodes annulaires successives.

Il est à noter que les accélérateurs de particules devraient être d'un modèle approprié, très différent des types classiques, du fait des valeurs très élevées que doit atteindre l'intensité du courant ionique (plusieurs centaines d'ampères).



L'intérêt des performances à atteindre, du moins théoriquement, des autopropulseurs de ce type à « radiergols » ressort du tableau ci-dessous. Ce tableau a été établi pour deux exemples particulièrement intéressants se rapportant à une croisière de quelques jours pour le premier et de quelques mois pour le second.

Pour ces deux exemples, on a supposé que l'on avait à sa disposition, pour l'élaboration des éléments radioactifs utilisés sur l'engin, une pile-mère de 20 millions de kW. C'est un ordre de grandeur qui n'a rien d'in vraisemblable (1).

(1) La puissance d'une pile productrice de plutonium doit atteindre 1 160 000 kW pour assurer une production journalière de 1 kg. Les piles de Hanford et de Savannah River sont données pour 1 million de kW.

DEUX PROJETS D'ASTRONEFS A PROPULSEURS A RADIERGOLS

	1 ^{er} exemple	2 ^e exemple
Élément primitif	Yttrium 89	Bismuth 209
Radioélément formé	Yttrium 90	Bismuth 210 → Polonium 210
Énergie du rayonnement	1,2 MeV (β)	5,3 MeV (α)
Période	3,2.10 ⁵ secondes (3 j 17 h)	1,73.10 ⁷ s (200 j)
Durée d'élaboration dans la pile	11 jours	600 jours
Masse élaborée	5,760 kg	520 kg
Puissance initiale	24 000 kW	106 000 kW
Puissance finale	6 500 kW	8 940 kW
Masse finale de l'astronef	5 t	10 t
Masse initiale de l'astronef ..	50 t	100 t
Accélération constante	0,1 m/s ²	0,01 m/s ²
Poussée initiale (1)	500 kg	100 kg
Vitesse d'éjection initiale ...	9 600 m/s	21,2 km/s
Vitesse d'éjection finale	26 000 m/s	178 km/s
Durée de la propulsion (2) ...	418 000 s (4 j 19 h)	4,3.10 ⁵ s (497 j)
Vitesse en fin de propulsion.	41,8 km/s	430 km/s

(1) La vitesse circulaire est déjà supposée atteinte à l'aide d'un premier élément ou de plusieurs.

(2) La limitation de cette durée vient du « propulsif » et non du « nucléergol ».

SOLUTIONS D'AVENIR POUR L'ASTRONEF NUCLÉAIRE

TYPES D'AUTOPROPULSEURS	EMPLOIS ENVISAGÉS	OBSERVATIONS
THERMONUCLÉOMOLÉCULAIRE (Une « pile », avec ou sans échangeur, chauffe deux fluides entrant ensuite en combinaison chimique.)	Envol initial et premier accostage	Impossibilité probable de se ravitailler en « propulsif » sur un autre astre.
NUCLÉOTHERMIQUE A « PILE » (Une « pile » chauffe dans un échangeur un fluide « propulsif » qui est éjecté à grande vitesse.)	Envois et accostages successifs.	Possibilités de ravitaillement en « propulsif ». Possibilité de fonctionner au départ de la Terre en thermonucléomoléculaire.
NUCLÉOTHERMIQUE A « RADIERGOL » (Des radioéléments artificiels à courte période chauffent sans échangeur un fluide « propulsif » éjecté à grande vitesse.)	Envol initial.	Impossibilité d'évacuer l'énergie libérée pendant les pauses du propulseur.
ÉLECTRONUCLÉAIRE A PILE ÉLECTROGÉNÉRATRICE (L'énergie de fission est transformée en énergie électrique servant à ioniser un « propulsif » et à accélérer les ions formés.)	Croisière.	Sous réserve de mise au point d'une pile électrogénératrice.
ÉLECTRONUCLÉAIRE A « RADIERGOL » (L'énergie de désintégration d'un radioélément de longue période est transformée en énergie électrique servant à ioniser un « propulsif » et à accélérer les ions formés.)	Croisière.	

LA PROTECTION DE L'ÉQUIPAGE

On ne saurait spéculer sur l'énergie nucléaire sans soulever, ne serait-ce qu'en quelques lignes, la question de la nocivité des radiations et des précautions qu'elle impose.

Ces précautions concernent l'équipage d'une part, la salubrité des zones d'envol et d'accostage d'autre part.

R. L. Shepherd, dans une note complémentaire sur la protection dans les fusées atomiques (1) propose les dispositions ci-après :

— report des sources de radiation à l'extrême arrière de l'engin, l'équipage étant rassemblé à l'extrême avant ;

— utilisation, comme écran, de la masse du « propulsif », cet écran jouant d'autant mieux son rôle que la forme de l'engin serait plus allongée ;

— interposition, près des sources, d'un écran de plomb relativement mince, juste suffisant pour assurer la protection pendant la courte période qui correspond à la consommation des derniers litres de propulsif.

Une autre solution, proposée indépendamment par l'auteur et par M. Lyman Spitzer, consisterait à séparer l'astronef en deux, l'équipage étant logé dans une cabine remorquée par la partie principale de l'engin à l'aide d'un long câble comportant, en particulier, les circuits de commande du propulseur et des gouvernes.

La seule différence entre les deux propositions résidait dans la longueur du câble,

quelques dizaines de mètres, dans notre idée, une centaine de kilomètres selon M. Spitzer qui envisageait, il est vrai, des traversées interstellaires dont la durée embrasserait plusieurs générations !

LA PROTECTION DES ZONES D'ENVOI

Sans même qu'il soit besoin d'arrêtés préfectoraux, ne pas déverser sur ses semblables, en guise d'adieu, une douche mortellement nocive est une simple question de civilité puérile et honnête.

Quant à ne pas polluer, par le jet de freinage, la zone d'accostage sur un autre astre démuné d'atmosphère, c'est évidemment une condition vitale pour l'équipage appelé à y débarquer.

Ce danger n'existe, au vrai, que pour les autopropulseurs qui crachent directement de dangereux produits de fission ; il est déjà très atténué pour ceux qui éjectent un « propulsif » n'ayant pas été en contact direct avec les matières fissibles et il devient quasi-négligeable pour ceux qui utilisent un radioélément.

Dans le cas des autopropulseurs dangereux, la solution proposée par tous les auteurs consisterait à équiper l'astronef de propulseurs classiques à combustion pour l'envol et le freinage, ce qui s'accorde très bien d'ailleurs avec la nécessité de développer à ces moments-là des poussées difficilement réalisables avec la plupart des autopropulseurs nucléaires.

En somme, il ne semble pas que la nocivité des radiations doive apporter un retard appréciable à la naissance de l'autopropulseur nucléaire.

(1) Journal of the British Interplanetary Society (juillet 1949).

COMMENT PEUT SE CONCEVOIR UN ASTRONEF NUCLÉAIRE

CONCLUSION

Il ressort du présent exposé que plusieurs voies sont dès maintenant ouvertes à l'étude théorique et expérimentale de l'autopropulseur nucléaire. Celles qui paraissent les plus intéressantes et les plus prometteuses ont été groupées sur le tableau de la page précédente.

Bien que ce soit très prématuré, le lecteur trouverait impardonnable de ne pas voir les larges considérations qui précèdent concrétisées par un projet, au moins schématique, d'astronef nucléaire. La figure page 104 représente l'un de ces projets, dû à la Commission technique de la British Interplanetary Society. Cette anticipation paraît toujours valable. D'autre part, le tableau ci-contre montre comment, selon nos conceptions, serait organisée l'économie générale d'un astronef nucléaire suivant la nature de sa mission.

Précisons bien qu'aucun des projets que nous avons décrits dans ce chapitre n'a, à notre connaissance, reçu la sanction de l'expérience.

Indiquons également qu'il faut se garder, pour juger de la valeur de tel ou tel mode de propulsion d'un astronef, d'écarter les solutions qui donneraient une poussée insuffisante pour assurer le décollage de la fusée. Un propulseur capable de fournir à peu de frais et pendant une très longue durée une accélération même très minime, pourrait être très utile pour la propulsion et le guidage d'un astronef vers une planète lointaine. Ainsi pour abrégé une traversée interplanétaire, une accélération de 1 cm/s^2 (l'accélération de la pesanteur est de l'ordre de 10 m/s^2 , soit mille fois plus) pendant la première moitié du parcours suivie d'une accélération égale et de sens contraire pendant la deuxième moitié présenterait encore un intérêt certain.

Enfin, la lecture de cette étude a pu donner à certains une impression assez pessimiste. Une foule de difficultés se présentent en effet pour l'utilisation de l'énergie nucléaire à la propulsion des astronefs. Mais l'industrie atomique n'en est encore qu'à ses premiers balbutiements et une foule de faits nouveaux : découverte de propriétés nouvelles des éléments transuraniens ou des produits radioactifs qui en dériveront, réalisation de réactions thermonucléaires, etc., peuvent brusquement modifier les données du problème dans un sens qui ne saurait être que favorable.

J.-J. Barré

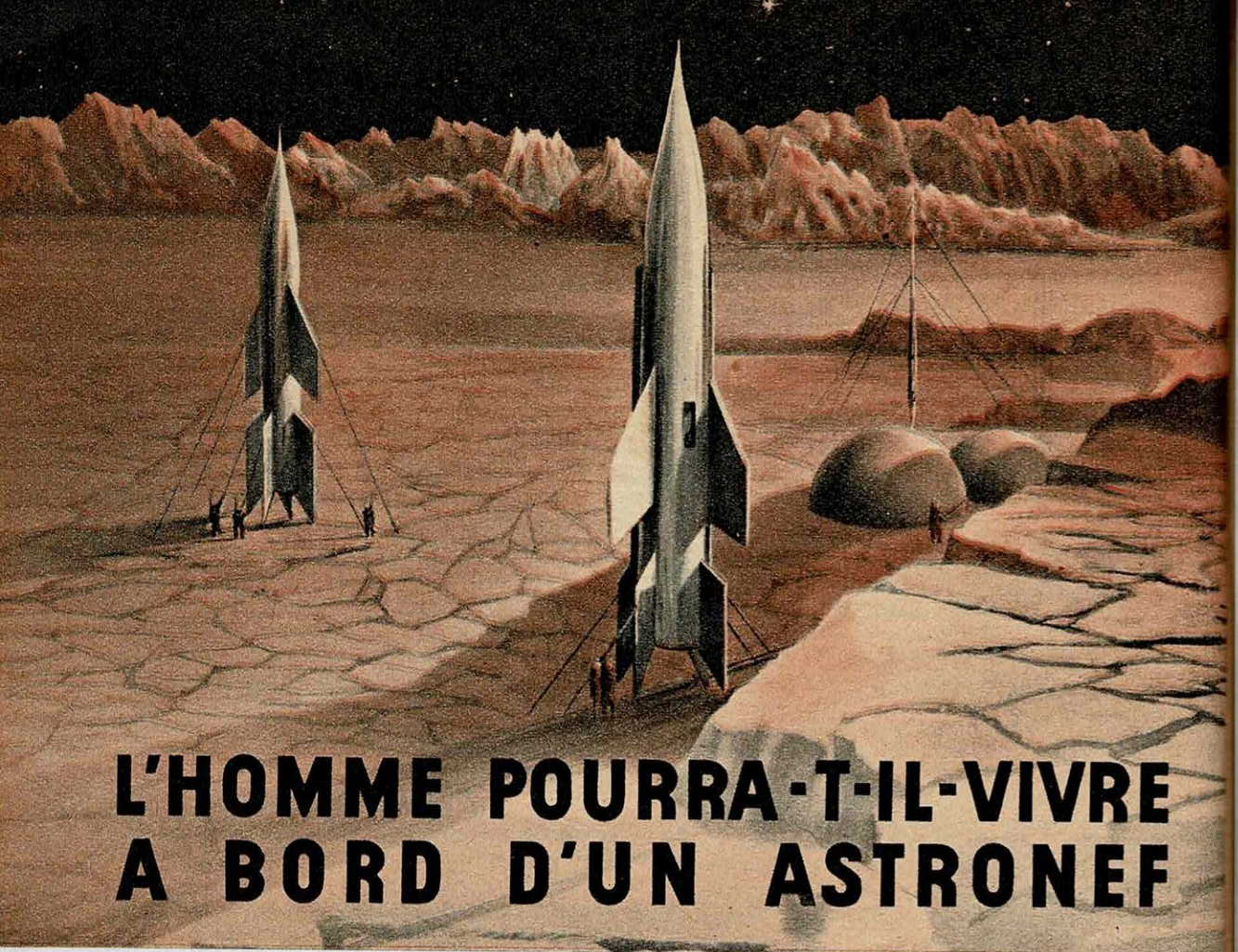
Ingénieur militaire en Chef des Fabrications d'Armement.

I. VOYAGE CIRCUMPLANÉTAIRE SANS ESCALE

de 0 à 1 500 m/s.....	propulsion par avion porteur à statoréacteurs classiques ou nucléaires.
de 1 500 à 7 100 m/s.	1 ^{er} élément à autopropulseur nucléothermique sans échangeur, avec radioélément à courte période.
de 7 100 m/s à une vitesse maximum fonction de la distance, puis freinage au retour jusqu'à 7 100 m/s	2 ^e élément à propulseur électro-nucléaire (ionique) avec radioélément de période appropriée.
de 7 100 m/s à l'atterrissage	freinage atmosphérique, vol plané aidé in extremis par statoréacteur.

II. VOYAGE AVEC ESCALE

de 0 à 1 500 m/s.....	comme ci-dessus.
de 1 500 à 7 100 m/s.	comme ci-dessus.
de 7 100 m/s à une vitesse maximum fonction de la distance, puis freinage jusqu'à une vitesse orbitale..	autopropulseur électro-nucléaire (ionique) avec radioélément de période appropriée.
freinage et accostage ...	si l'atmosphère est suffisante : vol plané et statoréacteur nucléaire permettant une certaine exploration, même en l'absence d'oxygène. en l'absence d'atmosphère : autopropulseur thermonucléaire du début.
envol de retour	autopropulseur thermonucléaire utilisant la même pile avec éventuellement un « propulsif » assuré par ravitaillement local.
croisière de retour ...	comme à l'aller, après ravitaillement éventuel en « propulsif ».
atterrissage	comme ci-dessus.



L'HOMME POURRA-T-IL-VIVRE A BORD D'UN ASTRONEF

B IEN que l'envoi hors de notre domaine terrestre de robots télécommandés et munis d'appareils enregistreurs nous puisse apporter d'inestimables données expérimentales sur une foule de passionnants problèmes, tels en particulier la fraction du rayonnement solaire arrêtée par notre atmosphère, le rayonnement cosmique, ou des données nouvelles sur les autres planètes, l'insatiable curiosité humaine ne sera vraiment satisfaite que lorsque des observateurs humains en chair et en os auront participé au voyage. Le terme même d'Astronautique implique d'ailleurs une telle participation. Il est donc indispensable d'envisager les différents problèmes qui se poseront pour assurer la vie des astronautes à bord de leur appareil et sur l'astre but de leur voyage. Ces problèmes peuvent se grouper sous trois chefs, que nous examinerons successivement :

- Problèmes posés par l'habitat dans l'astrotref d'abord, puis sur les autres planètes ;
- Modifications de la pesanteur apparente ;
- Protection contre les radiations.

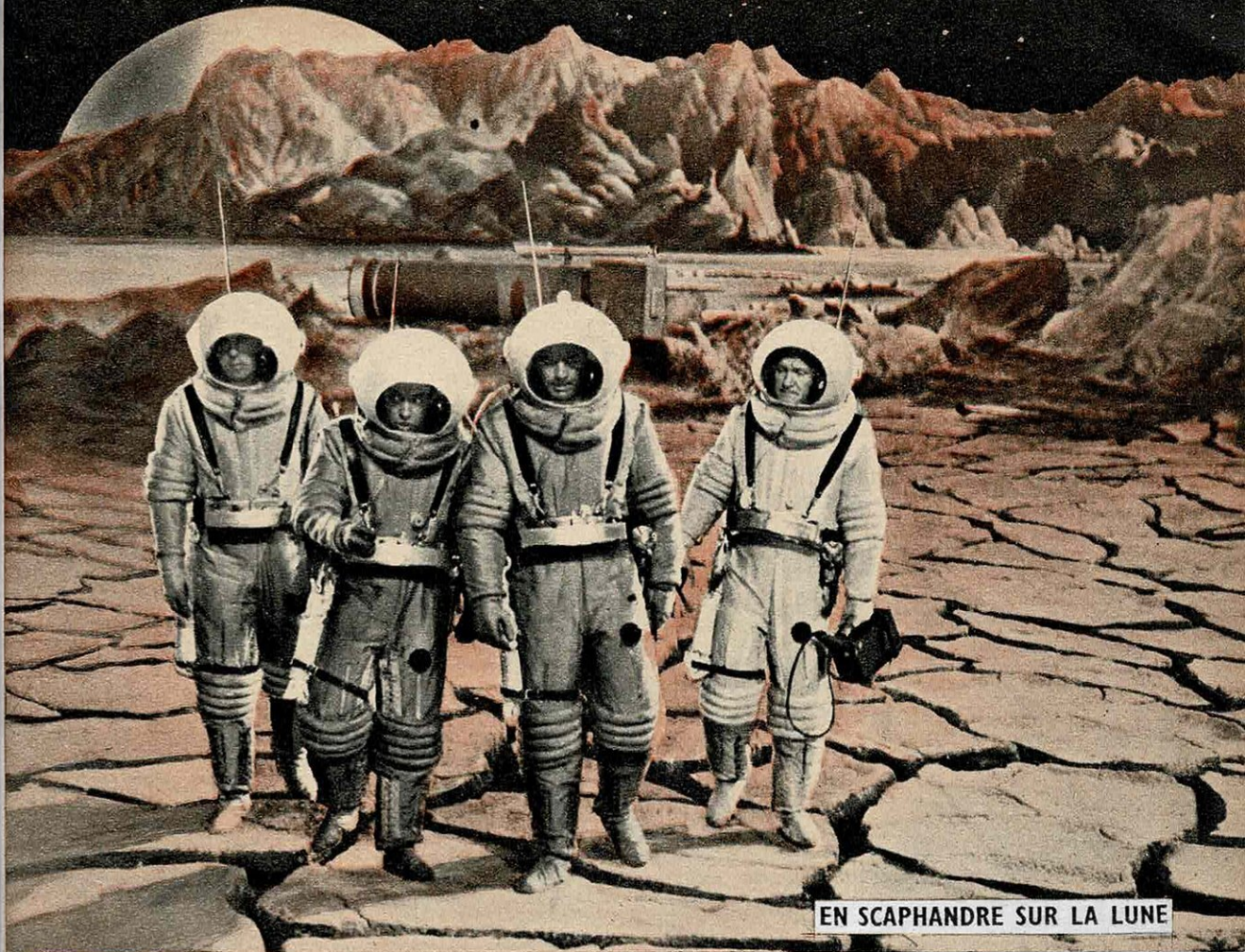
Mais, dès l'abord, il faut bien poser qu'assez souvent nous manquerons, pour établir des prévisions, de données expérimentales certaines et serons obligés de raisonner de façon théorique ou de tabler sur des hypothèses. Ce parfum d'aventure scientifique n'est peut-être pas l'un des moindres attraits de notre sujet.

LE PROBLÈME DE LA RESPIRATION

Les problèmes de **physiologie respiratoire** posés par le voyage interplanétaire semblent de prime abord comporter deux cas différents :

- d'une part, le voyage à travers le vide interplanétaire ou le séjour sur un astre, tel que la Lune, totalement privé d'atmosphère : c'est l'ensemble des problèmes que le physiologiste doit soumettre à l'ingénieur pour permettre la vie en cabine rigoureusement étanche ;
- d'autre part, le séjour sur une planète pourvue d'une atmosphère. Les problèmes posés sont alors commandés par ce que nous savons de la composition et de la pression de celle-ci. Nous verrons qu'en fait les dispositifs nécessaires à l'entretien de la vie humaine ne devront pas y être bien différents de ceux qu'impose le vide.

Les problèmes que pose la vie dans un milieu rigoureusement clos sont classiques et ont été résolus en particulier lors des ascensions stratosphériques et dans les croisières sous-marines de longue durée ; ils n'ont donc rien de spécifiquement astronautique, les seuls points spéciaux relèvent de détails qui ont cependant leur importance et résultent en particulier de questions de durée (pour un long trajet ou un séjour éventuel).



EN SCAPHANDRE SUR LA LUNE

Le problème fondamental concerne la fourniture de l'**oxygène** nécessaire à la respiration et l'absorption corrélative du **gaz carbonique** dégagé par celle-ci.

Dans tout ce qui va suivre nous supposons résolu par les ingénieurs le problème d'une étanchéité rigoureuse avec maintien à l'intérieur de la cabine de l'astronef de la pression atmosphérique normale (760 mm de mercure).

L'APPROVISIONNEMENT EN OXYGÈNE

Il faut bien savoir que la consommation d'oxygène par l'organisme n'est pas une quantité fixe, même en moyenne, et qu'elle dépend essentiellement du travail musculaire accompli par le sujet. Pour un adulte normal, deux parties y sont donc schématiquement à distinguer :

— **une consommation de base**, qu'il est absolument impossible de réduire, qui correspond aux oxydations fondamentales de l'organisme et au travail du cœur et est donc nécessaire pour entretenir la vie, même d'un homme au repos absolu, à jeun et ne luttant ni contre le chaud ni contre le froid. Les physiologistes l'appellent « métabolisme basal ». Elle est, en moyenne, de 0,300 litre par minute (1) ;

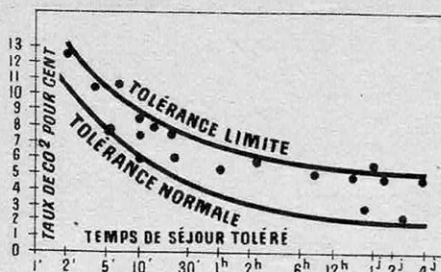
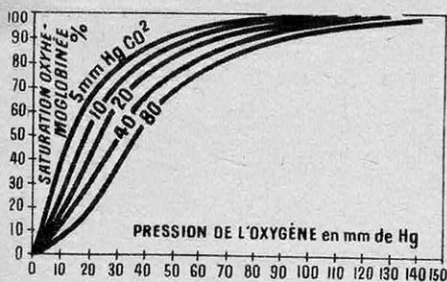
— **une consommation supplémentaire** qui dépend essentiellement du travail musculaire, mais qui comprend également celle résultant de la digestion ou d'une éventuelle régulation thermique.

Pour un travail de force soutenu, correspondant à une puissance mécanique de l'ordre de 100 watts (2), une consommation de l'ordre de 1 litre par minute est à prévoir.

Si on admet que les astronautes n'auront pas de façon constante à effectuer un travail de force, en tenant compte de ce que le sommeil rapproche beaucoup des conditions de la consommation basale, mais en respectant toutefois une large marge de sécurité, on peut prévoir une consommation moyenne de l'ordre de 1 litre par minute, soit (en arrondissant) 1,5 m³ par jour et par homme — quantité considérable puisque, pour quatre passagers et un voyage d'une durée totale de 300 jours, elle représenterait 1 800 m³ d'oxygène à la pression atmosphérique. De telles durées sont en effet à envisager si l'on veut prévoir un séjour d'observation suffisant à la surface d'une des planètes « voisines », Mars ou Vénus ; la durée du trajet, courte dans l'hypothèse d'un voyage à accéléré-

(1) Bien entendu à la pression atmosphérique normale et à 20° C.

(2) Il s'agit d'un effort prolongé; un effort de « pointe » peut engendrer des puissances bien plus fortes, mais ne peut être maintenu plus de quelques dizaines de secondes.



● A gauche, courbe de saturation de Barcroft : à une pression donnée d'oxygène correspond une fixation moindre de celui-ci par l'hémoglobine lorsque croît la pression de gaz carbonique. A droite, tolérance du gaz carbonique.

ration constante égale à celle de la pesanteur (35 heures pour Vénus, 49 heures pour Mars), mais qui ne paraît pas encore techniquement possible, peut en effet devenir beaucoup plus longue, non seulement dans le cas limite de la « chute libre », mais encore avec une propulsion réduite maintenant une vitesse constante (pour une vitesse de 10 km/seconde, de l'ordre de 48 jours pour Vénus et 90 jours pour Mars).

Or, pour diverses raisons pratiques, que nous ne pouvons détailler, seul le transport de gaz comprimé paraît possible. On sait que, dans les « bouteilles » d'oxygène comprimé, la pression est de 150 atmosphères. Même à cette pression, il faudrait environ 12 m³ de contenance utile de réservoirs. Cela poserait évidemment aux ingénieurs de délicats problèmes pour réduire au minimum l'encombrement et surtout le poids de cet appareillage. Cependant, quoique considérable, nous verrons que ce poids sera probablement faible devant celui de la « cuirasse » qui serait nécessaire pour protéger les voyageurs des radiations du moteur nucléaire. Nous verrons aussi qu'une sérieuse diminution de cette quantité d'oxygène pourrait être envisagée en utilisant la fonction chlorophyllienne des végétaux.

L'ÉLIMINATION DU GAZ CARBONIQUE

A toute consommation d'oxygène, les réactions chimiques dont l'organisme est le siège font correspondre un dégagement de gaz carbonique (CO₂). Sa quantité dépend de la catégorie d'aliments utilisée par l'organisme. Si celui-ci « brûle » des sucres (ce qui est le cas lors de l'effort musculaire), le gaz carbonique dégagé correspond molécule à molécule à l'oxygène consommé ; donc les volumes sont égaux : ce que les physiologistes appellent quotient respiratoire égale l'unité. Pour les autres aliments, protéines et graisses, ce quotient est inférieur à 1 ; le volume de gaz carbonique est inférieur à celui de l'oxygène consommé. Pour les conditions basales, on admet un quotient respiratoire moyen de 0,83, mais l'effort musculaire le rapproche de l'unité. On voit donc que la quantité (en volume) de CO₂ dégagé sera à peine inférieure à celle de l'oxygène nécessaire. Or ce gaz carbonique ne peut s'accumuler dans l'atmosphère, même si l'on y rétablit un taux normal d'oxygène, sous peine de faire apparaître des troubles physiologiques.

Quels sont-ils et surtout quelle est la concentration maximum de gaz carbonique que l'on peut considérer comme admissible? Le taux

normal de CO₂ dans l'atmosphère terrestre est très faible : de l'ordre de 0,03 %. Qu'arrive-t-il s'il vient à augmenter considérablement? Il faut savoir que ce qui compte c'est le taux de gaz carbonique dans l'air des alvéoles pulmonaires ; celui-ci est beaucoup plus élevé que dans l'atmosphère : 4 % ; il résulte d'un équilibre dynamique entre la quantité dégagée du sang veineux, la teneur de l'air inspiré et l'ampleur de la ventilation pulmonaire. Une augmentation de gaz carbonique dans l'air inspiré n'est donc dangereuse que si elle élève notablement le taux de l'air alvéolaire. Très schématiquement, les troubles résultent du fait que la présence de gaz carbonique diminue la quantité d'oxygène fixée par l'hémoglobine du sang (phénomène connu sous le nom d'effet Bohr). Or on admet qu'il y a déjà anoxémie si l'oxygène fixé tombe au-dessous de 90 % de la saturation de l'hémoglobine. Au-dessous de 85 % apparaît la cyanose (coloration bleuâtre de la peau et des muqueuses).

Mais l'excès de CO₂ dans le sang va exciter par une série de mécanismes régulateurs (dont l'étude ne saurait trouver place ici) une hyperventilation pulmonaire que l'on peut considérer comme un processus de défense puisqu'elle tend à faire évacuer le gaz carbonique en excès en augmentant la circulation d'air dans les poumons, à condition bien entendu que le taux de CO₂ soit nettement inférieur dans l'atmosphère à celui de l'air alvéolaire. Il semble donc que, au prix d'une ventilation légèrement accrue et qui ne devrait pas entraîner de fatigue, même à la longue, un taux de gaz carbonique de l'ordre de 0,5 %, bien supérieur à celui de l'atmosphère terrestre, mais nettement inférieur à celui de l'air alvéolaire normal, puisse être toléré dans l'air inspiré par les astronautes. Nous verrons plus loin l'avantage que l'on pourrait tirer de cette proportion accrue de gaz carbonique.

Mais pour maintenir un tel taux malgré la continue production de CO₂ par les habitants de l'astronef, il faudra disposer de méthodes d'épuration. Deux solutions sont alors théoriquement possibles.

L'absorption chimique.

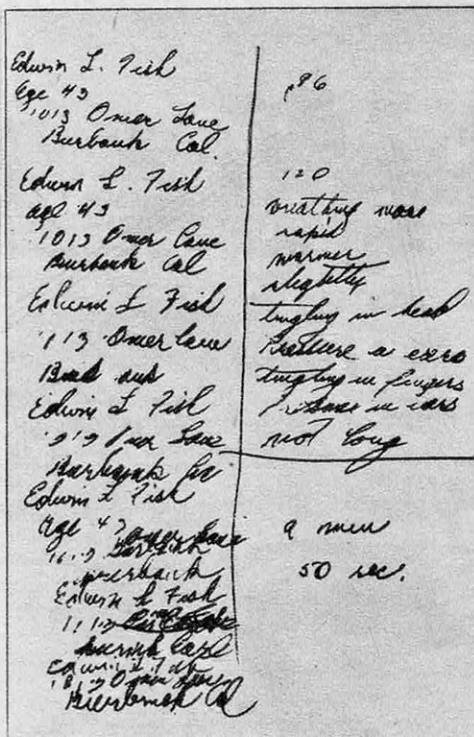
Elle a été très étudiée pour les plongées sous-marines et pour la construction des appareils d'anesthésie à circuit fermé. Le meilleur absorbant paraît être la chaux sodée ou la chaux barytée sodée employée sèche sous forme de granulé à travers lequel on fait circuler l'air à épurer. Le pouvoir absorbant dépend beaucoup des conditions de préparation, si bien que, pour obtenir le minimum de poids, la bonne qualité

de la chaux sodée est essentielle. En gros, il faut compter 2 kg de chaux sodée de bonne qualité pour assurer environ 8 heures de respiration calme d'un homme au repos. On voit que la quantité nécessaire représenterait ici aussi une masse considérable : près de 2 tonnes par passager pour un voyage de 300 jours. Mais est-il possible de réduire cette masse en récupérant le produit absorbant ? Théoriquement oui : par chauffage de la chaux sodée carbonatée dans le vide. Or le vide sera pour ainsi dire à portée de la main des astronautes : il suffira d'établir un système de sas pas trop volumineux pour ne pas gâcher l'air. Quant à la chaleur nécessaire, il est probable que le propulseur, quand il sera en action, la produira de façon surabondante ; il suffirait donc d'opérer pendant les périodes de marche du propulseur, car pour des raisons que nous verrons plus loin, il est à prévoir que la totalité du voyage ne s'effectuera pas en « chute libre ». Mais il faut bien savoir que la qualité de l'absorbant ainsi régénéré pourra être très inférieure à celle du produit primitif.

L'utilisation de la fonction chlorophyllienne des végétaux verts.

On sait que si les végétaux verts, comme tout être vivant aérobique, respirent en consommant de l'oxygène et en dégageant du gaz carbonique, cette respiration est largement compensée, lorsqu'ils sont soumis à la lumière, par la fonction chlorophyllienne qui réalise essentiellement la synthèse des sucres en absorbant le CO₂ et en rejetant de l'oxygène. L'intensité de cette fonction dépend de plusieurs facteurs : température (optimum vers 30°C), teneur en CO₂ (optimum pour des concentrations bien supérieures à celles de l'atmosphère terrestre : vers 5%), intensité de la lumière, espèce végétale. L'avantage de son utilisation en astronautique paraît à première vue évident, car la plante verte est en effet le seul catalyseur qui réalise de façon pratique la régénération de l'oxygène fixé sous forme de CO₂, et elle le fait molécule à molécule. Mais le rendement de cette réaction est-il suffisant pour assurer la régénération de l'air respirable ? Sachs a montré que, pour une plante adulte de l'espèce dite « Grand Soleil » (*Helianthus annuus*), la production de sucres est de l'ordre de 36 grammes par jour ensoleillé. Ceci

correspond à un dégagement d'oxygène d'environ 27 litres. A égalité d'éclairement (que l'on pourrait obtenir soit directement par le Soleil, soit par éclairage artificiel de composition spectrale convenable), en amenant la température de 15° à 25° C, on peut doubler cette quantité. On la peut encore environ quadrupler en augmentant la teneur en CO₂ jusqu'à 0,5 %, valeur que nous avons vue physiologiquement admissible pour l'homme. Ceci amènerait la production d'oxygène (avec l'absorption concomitante de gaz carbonique, donc épuration automatique) à 200 litres environ par jour et par plante adulte. Cette quantité est donc loin d'être négligeable par rapport aux quantités de l'ordre du mètre cube représentant



● Dans une chambre à basse pression, la firme d'aviation Lockheed étudie les effets du manque d'oxygène sur l'organisme. Ce pilote, écrivant ses réactions, a gardé conscience jusqu'à la pression régnant vers 7 300 m.

consommation d'un homme. De plus, en choisissant convenablement l'espèce végétale, celle-ci pourrait contribuer à la nourriture des astronautes (et résoudre élegamment le problème de la fourniture de certaines vitamines).

Ces considérations mériteraient, pensons-nous, d'attirer l'attention des botanistes et de susciter des travaux expérimentaux visant à réaliser les conditions optimum avec le minimum de poids et d'encombrement. Il semble bien d'ailleurs que ce mode d'épuration serait surtout avantageux pour de longues durées et non pas tant peut-être à bord d'un astronef, que pour un « observatoire » éventuel à la surface d'une planète.

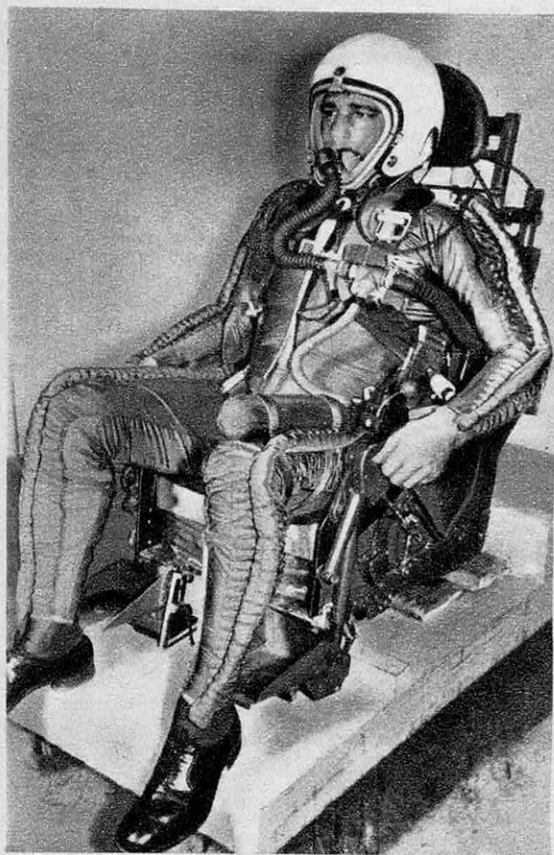
LES AUTRES PROBLÈMES D'APPROVISIONNEMENT ET D'ÉLIMINATION

Nous n'en dirons que quelques mots, soit qu'ils ne présentent rien de particulier à l'astronautique, soit que leur importance soit moindre.

Emporter une quantité suffisante de vivres réalisant des rations équilibrées serait évidemment essentiel : ces questions ont été entièrement résolues lors, par exemple, des expéditions polaires. Mais il faudra emporter de l'eau, et sa quantité représentera une masse assez grande puisqu'il faut compter un minimum de 1 litre par jour et par homme. Cepen-

Les desiderata physiologiques ont été déterminés pour les cabines étanches d'avions par Craig et Taylor qui ont tracé les courbes de « limites de confort » en fonction de la tension de vapeur d'eau et de la température.

Bien entendu, cette dernière devra, autant que possible, être maintenue au voisinage de 20° C, température dite de neutralité thermique où l'homme, légèrement vêtu, ne lutte ni contre le chaud ni contre le froid. Ceci semble devoir être assez facile à bord de l'astronef, soit en dérivant une faible partie de l'énergie du propulseur, soit en utilisant les rayons solaires par le système bien connu de la cabine peinte moitié en noir, moitié en blanc.



● Ce costume stratosphérique de l'aviation américaine, mis au point après 9 ans de recherches, se gonfle automatiquement quand se produit une baisse de pression. Casque d'une seule pièce, chauffé pour éviter le givrage.



● Destiné aux futurs voyageurs interplanétaires, ce scafandre a été l'objet d'études des savants, représentant douze nations, réunis au Congrès d'Astronautique qui a eu lieu il y a quelques mois à Stuttgart (Allemagne).

dant l'eau évacuée par les reins pourrait en grande partie être récupérée par distillation de l'urine, et l'eau perdue par transpiration et respiration par condensation de la vapeur ; le tout sera de savoir si les mécanismes nécessaires à cette récupération seront plus économiques au point de vue poids et encombrement que le transport d'eau. Signalons que les ingénieurs devront envisager soigneusement le maintien d'un état hygrométrique convenable.

La destruction d'autres substances organiques dégagées par l'être humain (hydrogène sulfuré, méthane et autres hydrocarbures, divers composés organiques volatils) et dont l'accumulation pourrait à la longue devenir toxique, devra être prise en considération. Leur oxydation par l'ozone peut être un des moyens d'épuration.

Il faudra enfin envisager l'évacuation des excréta, à moins que l'existence d'un « jardin

astronautique » signalé plus haut, ne leur trouve un emploi comme source d'azote organique à fournir à ses plantes.

LES PROBLÈMES SPÉCIAUX POSÉS PAR LE SÉJOUR SUR UNE PLANÈTE

Ils sont avant tout commandés par la composition de son atmosphère. Nous n'envisagerons que nos deux « voisins » : Mars et Vénus. Outre le fait que leur relative proximité en doit faire, en dehors de la Lune, les premiers buts visés, tout ce que nous savons des autres planètes du système solaire doit faire penser qu'un séjour éventuel à leur surface se heurterait à des difficultés quasi insurmontables : Mercure en raison de sa proximité du Soleil et de la chaleur intense sur son hémisphère éclairé ; les grosses planètes parce qu'elles manquent peut-être de croûte solide. Ce que nous connaissons des atmosphères de Mars et de Vénus a été exposé ailleurs dans ce numéro. Rappelons que les traits dominants en sont l'absence d'oxygène décelable et une pression très faible sur Mars (de l'ordre de 1/20 d'atmosphère), faible sur Vénus (de l'ordre de 1/4 à 1/5 d'atmosphère).

Si bien que, sur Mars, du point de vue de la biologie humaine, les conditions sont pratiquement les mêmes que dans le vide interplanétaire ou sur la Lune privée d'atmosphère. La vie en atmosphère artificielle et en milieu fermé y sera donc obligatoire, et si les explorateurs veulent quitter l'astronef et circuler individuellement, le scaphandre étanche s'imposera. Sa construction relève des mêmes principes physiologiques qu'une cabine plus vaste ; sa réalisation technique s'avérera probablement plus difficile et son rayon d'action sera sans doute fort limité par le poids de l'oxygène comprimé à emporter (1). Sur Vénus la pression atmosphérique nettement plus forte est cependant bien faible : elle correspond à celle qui règne dans l'atmosphère terrestre vers 10 000 ou 12 000 m. L'absence d'oxygène dans l'atmosphère de la planète commande de le fournir aux astronautes. Mais la vie en milieu fermé est-elle indispensable et le système d'inhalation d'oxygène « en circuit ouvert » utilisé par les aviateurs y pourrait-il être mis en œuvre ? Il est bien connu en médecine aéronautique

que les altitudes (terrestres) de 10 000 et 12 000 mètres sont à la limite des possibilités physiologiques des inhalateurs d'oxygène. En effet, ce qui compte pour la respiration, c'est la **pression partielle des gaz utiles dans l'air alvéolaire**. À la pression du sol terrestre, ces pressions partielles sont les suivantes :

oxygène	: 100 mm de mercure ;
gaz carbonique	: 40 mm de mercure ;
vapeur d'eau	: 47 mm de mercure.

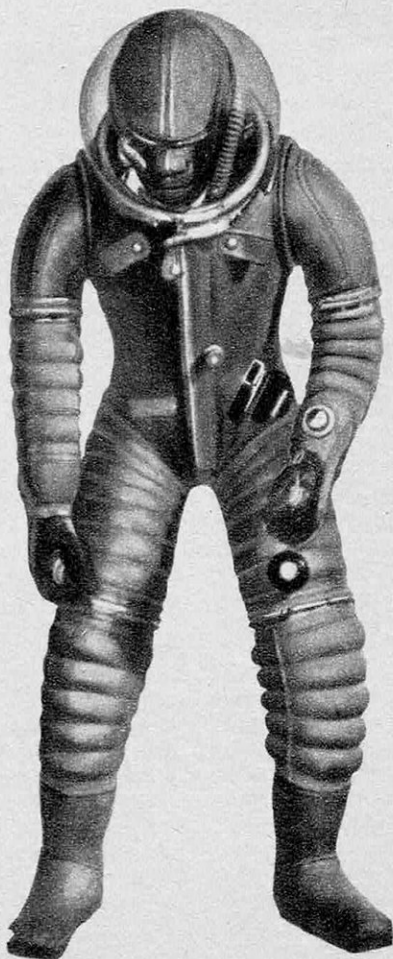
Le reste des 760 mm de mercure est représenté par l'azote. Dans un inhalateur, on enrichit l'air inspiré en oxygène, mais la pression de ce gaz reste égale à la pression extérieure. On peut ainsi, jusqu'à une certaine limite, rétablir, aux dépens de la pression partielle de l'azote inutile, une pression partielle d'oxygène au voisinage de 100 mm de mercure. Comment calculer la limite de pression barométrique à laquelle un inhalateur cessera d'être utile ?

Tout d'abord il faut savoir que, la pression partielle physiologique d'oxygène alvéolaire étant de 100 mm de mercure, on ne peut descendre au-dessous de 80 mm sous peine d'anoxémie. Par ailleurs, les 47 mm de pression partielle de la vapeur d'eau sont « incompressibles » car ils correspondent à la tension de vapeur saturante à la température du corps ; on

sait que cette pression de vapeur saturante dépend de la seule température et non de la pression extérieure ; or l'alvéole pulmonaire est toujours saturée d'humidité. Quant aux 40 mm de pression partielle du CO₂, ils doivent être également maintenus sous peine de troubles. Si bien que :

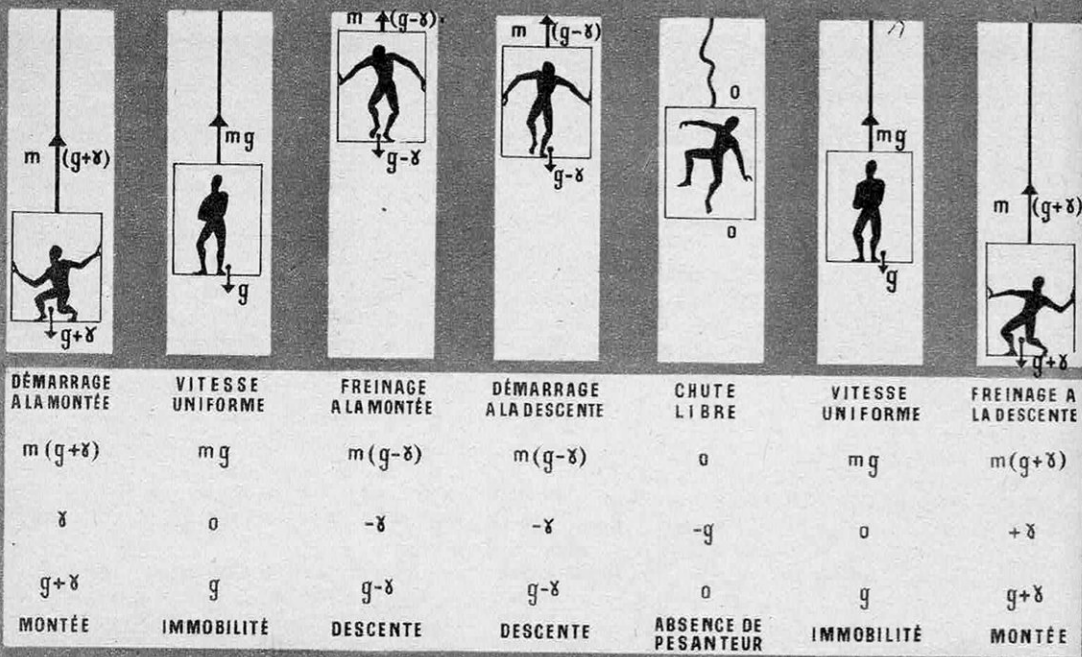
$80 \text{ mm} + 47 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 167 \text{ mm}$ de mercure. Tel est l'ordre de grandeur de la pression limite de fonctionnement utile d'un inhalateur, qui correspond précisément, dans l'atmosphère terrestre, à 11 000 mètres d'altitude environ et à l'ordre de grandeur de la pression admis à la surface de Vénus.

La présence d'une importante quantité de CO₂ dans cette atmosphère ne serait



(1) Compensé cependant par la faible valeur de la pesanteur (0,37 g) due à la faible masse de Mars. Les problèmes physiologiques éventuels dus à cette faible pesanteur seront envisagés plus loin.

✦ En 1934, les études de scaphandres aériens furent entreprises aux U.S.A. L'équipement imaginé se gonflait en dépression, mais, sans articulations, il plaçait le pilote en extension forcée. De 1935 à 1937, des recherches furent faites en Europe. Reprises en 1942, en France, elles aboutirent à un appareil léger, souple, d'une sécurité absolue. Ci-contre, on voit une des tenues stratosphériques américaines conçues après la guerre.



pas un inconvénient à ces basses pressions, car, comme l'a montré J. Beyne, convenablement mélangé à l'oxygène, sa présence dans l'air inspiré peut même être utile, s'opposant à la baisse de la pression partielle du CO_2 alvéolaire.

La possibilité d'utiliser des inhalateurs d'oxygène, plus commodes que les scaphandres étanches pour des sorties à la surface de la planète, ne saurait donc être a priori exclue. Il faudrait simplement prendre la précaution, bien connue maintenant des aviateurs d'altitude, de dénitrogéner le sujet par inhalation préalable d'oxygène pur, pour éviter les accidents, dits d'aéro-embolisme, dus au dégagement de bulles d'azote dans les tissus, accidents qui peuvent se produire dès la pression correspondant à 8 000 mètres d'altitude.

Cependant il est une des conditions physiques de la planète Vénus qui rendra peut-être cette possibilité théorique très illusoire : on admet que la température au sol doit y être de l'ordre de 50° à $60^\circ C$. Or l'eau bout à $50^\circ C$ sous $1/4$ d'atmosphère. Si donc il existe de l'eau sur Vénus (ce que la spectroscopie n'a pas confirmé), elle ne saurait y exister qu'à l'état de vapeur et si la quantité d'eau est suffisante, l'atmosphère doit être saturée. Or une température de $50^\circ C$ en atmosphère saturée d'eau ne peut être supportée par l'homme qui n'a plus aucun moyen physiologique de lutte contre la chaleur ; si la température ambiante dépasse en effet la température du corps, le seul mode de déperdition calorifique est l'évaporation d'eau (sueur ou respiration), et celle-ci n'est possible que si l'atmosphère n'est pas saturée.

Si donc une telle température jointe à l'existence abondante d'eau règne sur Vénus, le séjour en milieu fermé « climatisé » s'imposera. Mais si l'atmosphère de la planète est sèche (ce qui implique absence ou très faible quantité d'eau) des « excursions » avec inhalateurs

seront à la rigueur possibles, au prix, il est vrai, d'une forte perte d'eau (irré récupérable) nécessaire à la lutte contre la chaleur.

Enfin, certains auteurs envisagent la possibilité d'existence dans l'atmosphère de Vénus d'aldéhyde formique (formol) dû à la réaction photochimique du CO_2 et de la vapeur d'eau sous l'influence des rayons ultraviolets solaires de courte longueur d'onde, que l'absence d'oxygène (donc d'ozone) laisse arriver au sol. Or l'on connaît la grande toxicité de ce gaz.

Telles sont les perspectives que le peu que l'on sait sur les conditions physiques des deux planètes voisines permettent d'imaginer. Elles sont, on le voit, peu encourageantes au point de vue de la commodité des « excursions » que les explorateurs planétaires pourraient accomplir hors de leur astronef.

LES VARIATIONS DE LA PESANTEUR APPARENTE

Les problèmes qu'elles soulèvent sont encore plus intéressants parce qu'entièrement nouveaux et spécifiquement astronautiques.

Tout ce que nous allons envisager, pour le problème essentiel qui est, nous le verrons, celui des effets de la suppression de la pesanteur, sera théorique car les données expérimentales manquent complètement et manqueront probablement longtemps encore. Les projets très intéressants de F. et H. Haber dont nous parlerons plus loin ne permettront que des durées beaucoup trop courtes, et il est vraisemblable que le voyage astronautique lui-même pourra seul fournir des indications précises. Il est cependant intéressant de tenter d'imaginer, en raisonnant sur les données mécaniques et physiologiques connues, ce que

Les « sensations de l'ascenseur » sont parmi les plus caractéristiques des illusions que fait naître l'application d'accélération rectilignes. Une ascension accélérée et une descente freinée donnent la même impression de montée. Une descente accélérée et un freinage à la montée donnent la même impression de descente. Une vitesse constante est ressentie comme l'immobilité.

pourraient être les perturbations apportées à un organisme humain par les diverses phases du voyage d'un astronef.

Les données mécaniques sont primordiales.

Elles ont été exposées précédemment par M. Esclançon. Rappelons-en le résultat essentiel :

Dans un astronef soumis aux seules forces de la gravitation universelle, forces qui s'exercent à la fois sur l'astronef et sur ses occupants, la pesanteur apparente est nulle. Dans un astronef soumis, outre les forces de la gravitation universelle à la poussée d'un propulseur (ou d'un frein), une pesanteur apparente prend naissance parce que ces forces s'exercent uniquement sur l'astronef. L'intensité du champ de pesanteur apparente est égale à la poussée divisée par la masse totale du système.

Le voyage astronautique peut alors être schématiquement divisé en trois phases :

— l'accélération initiale, correspondant à la phase nécessaire pour atteindre une vitesse de l'ordre de la vitesse de libération et qui comportera la traversée de l'atmosphère terrestre ;

— le trajet proprement dit

— le freinage à l'« atterrissage » sur l'astre d'arrivée.

Phase d'accélération initiale.

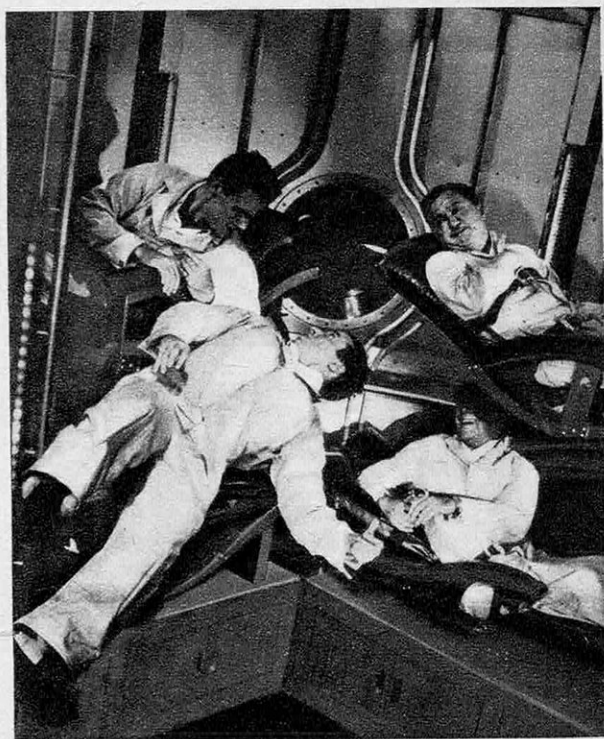
A l'instant initial, la pesanteur apparente sera mesurée par l'accélération de propulsion (cette propulsion étant la seule force extérieure appliquée puisque la résistance de l'air s'annule avec la vitesse) et dirigée en sens inverse, soit donc dans le « bon sens » selon la verticale « descendante ». Pour que le décollage s'effectue, elle sera nécessairement supérieure à g (accélération de la pesanteur à la surface de la Terre ; soit $9,81 \text{ m/s}^2$). Lors de la traversée de l'atmosphère, la valeur (variable avec la vitesse et l'altitude) de la décélération due à la résistance de l'air, vient se retrancher de la valeur de l'accélération de propulsion (la résultante devant demeurer plus grande que l'accélération de gravitation à l'altitude considérée ; celle-ci reste d'ailleurs pratiquement très peu inférieure à g dans toute l'épaisseur de l'atmosphère).

Quelle sera la grandeur de cette accélération initiale? Le frottement de l'air, qui augmente considérablement avec la vitesse, exige, si l'on ne veut pas que les passagers soient rôtis par la chaleur dégagée, que les vitesses lors de la traversée de l'atmosphère ne soient pas trop fortes. Il semble, pour ce motif, que l'on soit obligé de ne pas envisager des accélérations initiales de propulsion supérieures à $2 g$.

Quelle sera la durée de cette propulsion? Le calcul corrobore cette évidence qu'elle sera d'autant plus brève que l'accélération sera plus grande : pour $2 g$, la vitesse de libération sera atteinte en 12 minutes et demie environ et pour $1,1 g$ en 37 minutes environ.

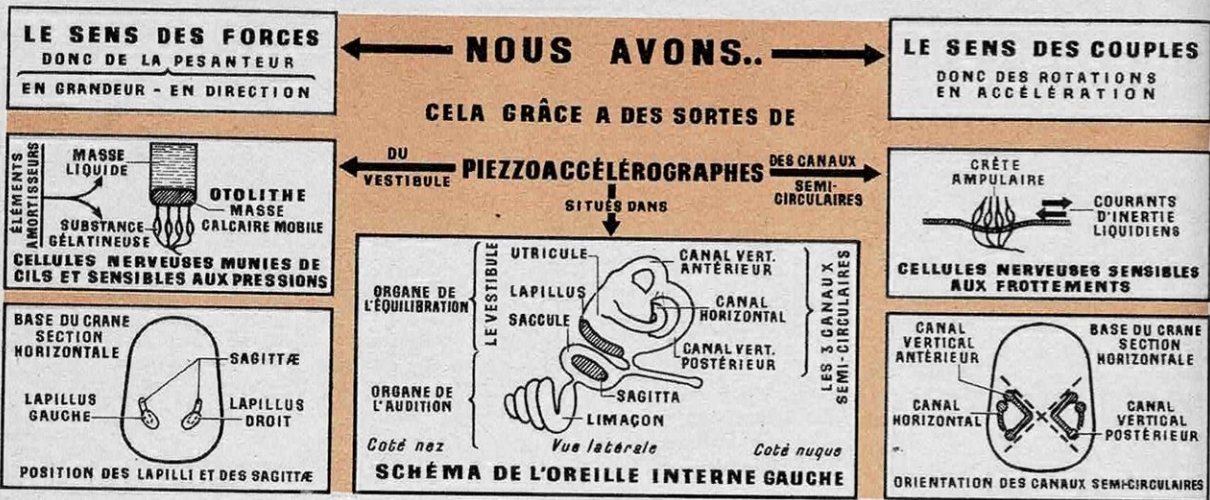
Ces chiffres sont de nature à nous rassurer pleinement en ce qui concerne cette phase du voyage. En effet, tout ce que nous ont appris les expériences faites sur l'homme en centrifugeuse montre que de telles valeurs, même avec de telles durées, doivent être très aisément supportées.

Les troubles que peut entraîner une augmentation de la pesanteur apparente sont en effet avant tout des troubles circulatoires (avec leurs conséquences) et ces troubles dépendent essentiellement de la direction du champ de pesanteur par rapport à l'axe longitudinal du corps, selon la direction duquel sont à peu près alignés les gros vaisseaux : artères carotides au-dessus du cœur, aorte descendante au-dessous.



● Dans le film « Destination : Lune ! » un astronaute détaché de sa couchette flotte dans l'espace pendant le vol en « chute libre », après l'arrêt des propulseurs.

Lorsqu'il agit dans le sens tête-siège (position assise ou debout par rapport à la « verticale artificielle » déterminée par la direction de la pesanteur apparente), le champ de pesanteur tend à accumuler le sang dans les veines de l'abdomen et des membres inférieurs, à diminuer ainsi la masse de sang circulant et à faire baisser la pression dans les artères carotides. Comme celles-ci amènent le sang à l'encéphale et que l'on sait l'extrême sensibilité des cellules



nerveuses à l'anémie, on comprend que les manifestations premières soient d'ordre sensoriel et nerveux. Les particularités de la circulation oculaire, que nous ne pouvons détailler ici, font que l'anémie de la rétine survient la première, entraînant cette cécité passagère qui est le « voile noir » bien connu des pilotes de chasse ou d'acrobatie. Un degré de plus et survient la perte de connaissance.

Mais à quelles valeurs de l'augmentation de la pesanteur apparente ces troubles surviennent-ils chez l'homme? Ce seuil est variable selon les tolérances individuelles, mais se situe toujours au-dessus de 3 g et en moyenne entre 4 et 5 g. Les 2 g envisagés ci-dessus sont donc nettement inférieurs à la limite de tolérance.

Mais la plupart des expériences en avion et en centrifugeuse ont été assez brèves, ne dépassant pas quelques dizaines de secondes. Dans ces conditions on a d'ailleurs toujours observé la mise en jeu, après quelques secondes, d'une régulation réflexe (1) tendant à augmenter la pression artérielle, donc la tolérance (2). Ces considérations sont-elles valables pour des durées de plusieurs minutes? Des travaux récents de E.-E. Martin et J.-P. Henry aux U.S.A. ont montré que le seuil reste le même pour des durées allant de 15 secondes à 2 minutes et se situe vers 4 g. Une durée encore plus grande, telle que les 12 minutes envisagées plus haut, ne pourrait-elle entraîner, même avec 2 g, l'épuisement des mécanismes de protection et l'apparition des troubles? Nous ne le croyons pas, car il semble bien que les mécanismes régulateurs ne sont pas nécessaires pour que le sujet supporte 2 g sans dommage. D'ailleurs le port de vêtements, dits « anti-G », conçus pour la protection des aviateurs et qui agissent par compression de l'abdomen et des membres inférieurs en y empêchant l'accumulation du

sang, permet d'élever d'environ 2 g le seuil de tolérance. De plus, une autre position du sujet par rapport à la direction du champ de pesanteur élève encore plus le seuil d'apparition des troubles. En effet, si le champ de pesanteur est perpendiculaire à l'axe longitudinal du corps, ce qui correspond au sujet couché, la théorie montre que ni l'accumulation du sang dans l'abdomen et les membres inférieurs, ni la baisse de pression carotidienne ne se doivent produire, et l'expérience confirme que les seuils de tolérance dans cette position dépassent 10 g, même pour des durées atteignant 2 minutes. Nous sommes donc, avec 2 g, très largement au-dessous du seuil et il ne semble pas téméraire d'affirmer qu'une intensité de pesanteur de 2 g agissant dans le sens ventre-dos (1) même durant une douzaine de minutes, ne doit entraîner aucun trouble. Quant à l'intensité de 1,1 g, on doit considérer qu'elle pourrait être indéfiniment supportée, même en position debout.

Le trajet proprement dit.

Le trajet proprement dit commence dès que la vitesse de libération a été atteinte. C'est lui qui va poser les problèmes majeurs du point de vue physiologique.

Deux possibilités s'offrent pour la pesanteur apparente à bord :

1) **On conserve une accélération de propulsion**, mais puisque la vitesse de libération est atteinte, on peut la réduire :

— soit à une valeur égale à g (ou peu inférieure : 0,9 g par exemple) sur une trajectoire peu différente de la ligne droite. Dans ce cas, aucun problème physiologique ne se pose du fait de la pesanteur, puisqu'elle a une valeur égale ou très proche de la valeur normale. Le fait que des vitesses très considérables seront

(1) Dans le détail de laquelle nous ne pouvons entrer ici; signalons seulement que la zone sensible de ce réflexe se trouve à la bifurcation de l'artère carotide primitive.

(2) Il est remarquable de constater que l'espèce humaine est l'une des plus résistantes à l'augmentation de la pesanteur. Le chien et surtout le lapin sont beaucoup plus sensibles. Peut-être est-ce là une conséquence de l'adaptation à la station verticale.

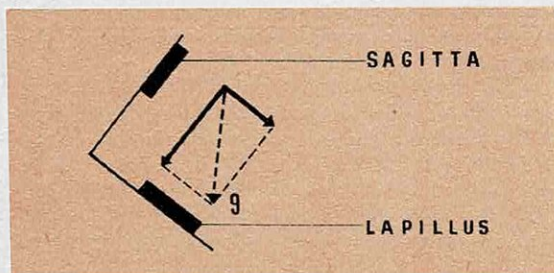
(1) Nous excluons de cette discussion la position où le champ de pesanteur agirait dans le sens des pieds vers la tête (qui correspondrait d'ailleurs au non-sens de mettre le plafond de la cabine à la place du plancher); cette position, où la pesanteur accumule le sang dans la tête, est **fort dangereuse** pour une valeur de 2 g entraînant la sensation visuelle de « voile rouge », un fort mal de tête et le risque d'hémorragies rétiniennes et cérébrales.

SENS DES FORCES ET DES COUPLES

Sur ce tableau établi par le Médecin-général Beyne ont été représentés les deux groupes d'organes de l'appareil vestibulaire de l'oreille interne qui nous permettent d'apprécier la position et les mouvements de la tête. A droite, les canaux semi-circulaires, dans trois plans rectangulaires, constituent le sens des couples, toute accélération ou tout ralentissement d'une rotation provoquant un courant d'inertie dans le liquide, lequel excite les cellules nerveuses. A gauche, les otolithes, comprenant le lapillus horizontal et la saggita verticale (quand la tête est droite) sont des concrétions calcaires qui appuient sur des cellules ciliées; elles fournissent le sens des forces, appréciant l'orientation de la tête dans le champ de la pesanteur et, par un effet d'inertie, les accélérations rectilignes.

ainsi atteintes (de l'ordre de 1 000 km/s après 24 heures) ne doit avoir aucune importance puisque le trajet se fera dans le vide et que ce qui compte, au point de vue des forces appliquées à tout corps solidaire de l'astronef, ce sont les accélérations et non les vitesses, à condition que le milieu n'offre aucune résistance : nous ne nous apercevons nullement que la Terre nous entraîne autour du Soleil à près de 30 km/s et cette vitesse serait-elle cent fois plus grande qu'elle resterait insensible (si elle s'effectuait en ligne droite et ne variait pas rapidement). Malheureusement les projets de « moteurs nucléaires » actuellement envisagés ne semblent pas permettre une propulsion constante de valeur g pour toute la durée d'un voyage, Terre-Mars par exemple, en raison de l'énormité de la masse de « propulsif » à emporter.

— soit, comme l'a montré M. Esclançon, à une valeur plus faible, mais en réglant sa direction de manière à faire décrire à l'astronef (à une vitesse assez faible de l'ordre de 10 km/sec) une trajectoire hélicoïdale à très large rayon de courbure, où la force centrifuge permettrait de rétablir une pesanteur apparente proche de g . Un dispositif automatique maintiendrait cette force constamment normale au plancher de la cabine. Mais il semble bien que ce mode de trajet soit également difficile à réaliser, surtout en raison des difficultés de navigation. Pour



● La tête étant oblique par rapport à la verticale, l'accélération de la pesanteur peut être considérée comme la résultante de deux composantes rectangulaires. Celles-ci excitent respectivement le lapillus et la saggita.

ces raisons techniques il faut donc envisager très sérieusement l'autre cas.

2) La « chute libre » où la propulsion est complètement supprimée, soit dès que la vitesse de libération a été atteinte, soit pendant une fraction plus ou moins longue du trajet (selon l'économie de « propulsif » à réaliser). D'ailleurs ce problème des incidences physiologiques de la chute libre se poserait même dans le cas du voyage à propulsion constante et égale à g , dans l'éventualité toujours possible d'une panne du propulseur, que les astronautes seraient dans l'obligation de réparer **sous peine de mort** (ils risqueraient en effet alors soit de se « perdre dans l'espace », soit de percuter avec une vitesse énorme sur l'astre d'arrivée); il faudrait alors impérieusement qu'ils jouissent de tous leurs moyens physiologiques. Or nous avons vu que dans l'astronef non propulsé **la pesanteur est annulée**.

En pareil cas, ce que nous avons vu plus haut montre qu'il n'y aura pas d'incidences circulatoires directes, puisque la position couchée, dans laquelle se trouve à peu près complètement supprimée l'action vasculaire de la pesanteur (alors normale aux gros vaisseaux), est précisément celle qui est la plus propice au repos relatif du cœur. Le problème est d'un autre ordre et **relève essentiellement de facteurs psycho-sensoriels** sur lesquels nous avons insisté avec J. Beyne dès 1946 et sur lesquels nous récemment revenus, en confirmant et en étendant nos vues d'alors, H. Haber et Gerathwohl.

LES FACTEURS PSYCHO-SENSORIELS

La diminution ou la suppression de la pesanteur doivent affecter essentiellement l'ensemble sensoriel correspondant à ce que l'on peut appeler les impressions stato-cinétiques et dont les organes peuvent être nommés mécanorécepteurs, qui nous renseignent à chaque instant sur les positions et les mouvements de l'ensemble ou de parties de notre corps.

Ces renseignements sont d'ailleurs habituellement inconscients et sont la source de l'ensemble très complexe des réflexes coordonnés qui assurent l'harmonie de nos mouvements, mais ils peuvent devenir conscients par un effort d'attention.

Il nous faut donc, avant de tenter de décrire les troubles qu'y pourraient apporter la diminution ou l'absence de la pesanteur, évoquer aussi brièvement que possible les notions physiologiques essentielles concernant cet ensemble sensoriel complexe. Très schématiquement on y peut distinguer l'interférence et la coopération des systèmes sensoriels suivants :

— **le sens baresthésique**, qui nous fait apprécier l'état de déformation élastique plus ou moins grand créé par des pressions ou des tractions affectant les diverses parties de notre corps; c'est de ce sens que relèvent, dans le cas de la pesanteur normale s'exerçant en position debout, les sensations banales et souvent inconscientes, tellement nous y sommes accou-

tumés, qui nous font sentir la tête peser sur le cou, le tronc sur le bassin, celui-ci sur les membres inférieurs et ces derniers sur le sol. Ce sens contribue puissamment à notre orientation dans l'espace par la part qu'il apporte à notre perception de la verticale;

— **le sens musculaire** qui nous donne l'exacte notion des efforts accomplis par les muscles que nous mettons en action;

— **le sens des attitudes** qui nous renseigne sur les positions respectives des segments mobiles de notre corps.

Ces trois modes sont souvent groupés sous le nom de **sensibilité profonde** (par opposition à la sensibilité tactile ou thermique superficielle, cutanée). Leurs voies nerveuses vers les centres encéphaliques passent principalement par les cordons postérieurs de la moelle épinière. Leur lésion, réalisée dans le tabès, diminue ou abolit cette sensibilité : le malade qui en est atteint ne peut se tenir au garde-à-vous les yeux fermés; il vacille, c'est le signe de Romberg, bien connu des médecins. De plus ils sont atteints d'une forme d'ataxie où les mouvements ne sont plus proportionnés à leur but (en marchant ils lancent maladroitement leur pied en avant au lieu de le poser) parce que leurs centres de coordination réflexe des mouvements ne reçoivent plus à chaque instant les renseignements nécessaires sur les positions et les efforts fournis par chaque segment de membre.

L'appareil vestibulaire qui comprend plusieurs petits organes logés dans l'oreille interne, mais dont les fonctions, malgré la proximité anatomique, sont absolument distinctes de l'audition, a pour rôle de nous faire connaître la position et les mouvements de la tête. Il comporte deux groupes d'organes anatomiquement et fonctionnellement distincts :

— **les canaux semi-circulaires**, disposés dans trois plans rectangulaires (page 124), dont une extrémité est dilatée en ampoule contenant une crête formée de cellules ciliées; ils sont remplis d'un liquide analogue au liquide céphalo-rachidien. Selon l'expression d'André Broca, ils sont l'organe du **sens des couples** et permettent seulement de percevoir une **rotation accélérée** (créée par un couple de forces) et non pas une rotation uniforme. En effet, chaque fois qu'une accélération angulaire entre en jeu, un courant d'inertie se produit dans le liquide en sens inverse de cette accélération angulaire et vient appuyer sur le barrage des cils de la crête ampulaire, excitant de ce fait les cellules sensibles. Donc, selon la théorie classique habituellement admise, les canaux semi-circulaires ne sont pas sensibles à un système de forces réductible à une résultante unique (forces concourantes ou parallèles) et **sont insensibles à un champ de force uniforme, telle la pesanteur** (1).

— **les otolithes**, qui comprennent dans chaque oreille interne : le **lapillus**, situé dans un plan presque horizontal, et la **sagitta** située

dans un plan presque vertical (la tête étant droite) nous intéressent ici davantage.

Chacun est schématiquement constitué d'une « pierre » (d'où le nom d'otolithe : pierre de l'oreille), minuscule concrétion calcaire pesant sur une couche de cellules ciliées sensibles par l'intermédiaire d'un massif gélatineux englobant les cils des cellules sensibles.

Broca les appelle **organes du sens des forces** (1). Ils sont sensibles à un champ uniforme, donc à la pesanteur : un tel champ agit en effet sur la « pierre » qui exerce soit une pression, soit une traction sur le massif gélatineux, excitant les cellules sensibles.

Le lapillus et la sagitta étant situés dans deux plans presque rectangulaires, la direction d'une force oblique par rapport à eux sera perçue par le rapport de l'intensité de ses composantes perpendiculaires à ces plans (page 125). Ce sont donc les otolithes surtout, et non, pour la théorie classique, les canaux semi-circulaires, qui, dans le cas de la pesanteur normale, nous renseignent sur la position de la tête par rapport à la verticale; en effet, habitués que nous sommes à l'uniformité de la pesanteur et à sa direction verticale, nous interprétons comme « sensation de repos » de l'ensemble du corps les excitations conjuguées des lapilli et des sagittae qui correspondent aux projections respectives d'un champ gravifique d'intensité 1 g sur un plan horizontal et un plan vertical : l'ensemble des excitations conjuguées des otolithes qui répond à ces conditions est perçu comme l'ensemble des positions possibles de la tête par rapport à la verticale descendante.

Mais les otolithes nous permettent de percevoir les **mouvements rectilignes accélérés** (2) subis par notre corps : ce sont les **sensations dites de l'ascenseur**. En effet, toute modification dans les valeurs respectives des excitations des lapilli et des sagittae par rapport à celles qui correspondent aux projections d'un champ de forces de 1 g, sera perçue comme un mouvement. Par exemple, en position debout, tête droite, les sagittae quasi-verticales, presque parallèles à la pesanteur, ne seront pratiquement pas excitées, les lapilli horizontaux le sont au contraire avec la valeur maximum que permet l'intensité g du champ.

Toute augmentation d'excitation, **toute pression accrue sur les lapilli sera perçue comme sensation de montée**; inversement toute **diminution de pression comme sensation de descente**.

Il est en effet facile de se rendre compte que dans une ascension **accélérée** est créée une force d'inertie dirigée vers le bas qui fera pression sur les lapilli; c'est ce qui se passe dans un ascenseur au moment de la mise en route de la montée; mais, pour cet ascenseur, très vite la vitesse devient uniforme, toute force

(1) Au sens de système de forces réductible à une résultante générale unique, et par opposition aux couples.

(2) Il est très curieux de constater qu'est ainsi naturellement réalisé un dispositif très analogue aux accélérographes piézoélectriques utilisés en aviation.

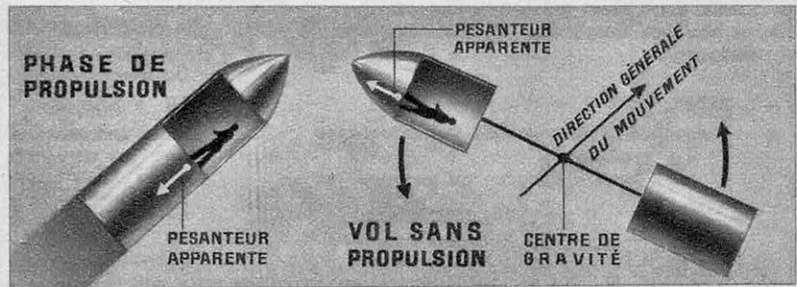
d'inertie cesse de s'exercer et, les yeux fermés, le passager ne s'aperçoit plus de l'ascension. Inversement, pour une descente accélérée de l'ascenseur (dont le maximum serait la chute libre dans le vide) la force d'inertie est dirigée vers le haut, diminuant (et à la limite en chute libre annulant) la pression du massif calcaire du lapillus sur son massif élastique. Mais là encore, dès que la descente s'effectue à vitesse uniforme, la sensation d'origine vestibulaire disparaît. C'est ce qui se produit pour des parachutistes se lâchant en prétendue « chute libre » : la vraie chute libre, au sens de la mécanique, n'a lieu que dans les tout premiers instants, car, très vite, la résistance de l'air amène le sujet à une vitesse de chute constante, donc à l'accélération nulle. Ces sensations vestibulaires sont d'ailleurs susceptibles de produire des **illusions** dues précisément au fait que seuls sont perçus les mouvements accélérés, non les mouvements uniformes. Ainsi, reprenons l'expé-

Tous ces phénomènes d'origine vestibulaire manquent chez la plupart des sourds-muets, dont toutes les fonctions de l'oreille interne, auditive et d'équilibration, sont détruites.

Enfin, bien que ne faisant pas partie des mécano-récepteurs, le sens de la **vue** contribue puissamment à notre orientation (statique et cinétique) dans l'espace.

Pour l'ensemble des mouvements normaux que l'homme est habitué à pratiquer à la surface de la Terre, toutes les impressions reçues de ces divers appareils sensoriels sont intégrées en un ensemble complexe et cohérent qui réalise le **sens de l'équilibre**. Toute discordance importante entre elles, produite soit par une situation anormale, soit par une excitation pathologique, va engendrer l'ensemble d'impressions pénibles qu'est le **vertige**. A ce propos, les discordances entre les sensations vestibulaires et les autres jouent un rôle prédominant. Une lésion de l'oreille interne (ou de son nerf senso-

● L'absence de pesanteur, condition normale à bord d'un astronef en « chute libre », étant susceptible de provoquer des troubles physiologiques, on a proposé de réaliser une pesanteur artificielle par rotation de l'astronef scindé en deux parties autour du centre de gravité de l'ensemble. Mais on peut craindre l'apparition de vertiges lors de mouvements un peu brusques de la tête.



rience de l'ascenseur : supposons-le d'abord en montée à vitesse constante; le passager, nous l'avons vu, ne perçoit rien les yeux fermés; si maintenant l'ascenseur vient à s'arrêter, le sujet perçoit une illusion de descente; en effet, le freinage crée une force d'inertie dirigée vers le haut. Inversement, l'arrêt d'une descente à vitesse constante est perçu comme une illusion de montée. Ces phénomènes ont été expérimentés en Amérique sur des ascenseurs de gratte-ciels.

Enfin, des excitations intenses du vestibule peuvent s'accompagner de **réflexes** :

— soit de **réflexes musculaires**; signalons seulement parmi les réflexes à point de départ otolithique les réactions dites de l'ascenseur : extension des membres par une accélération tendant à diminuer la pesanteur (descente), flexion dans le cas contraire;

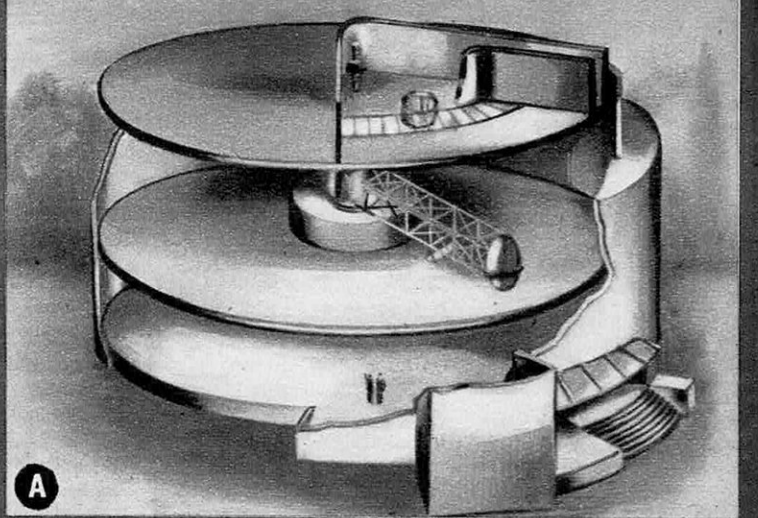
— soit de **réflexes viscéraux** dont l'importance peut être beaucoup plus grande du point de vue astronautique : réflexes digestifs (nausées, aboutissant ou non à des vomissements), troubles vaso-moteurs, pâleur ou rougeur de la face, troubles du rythme cardiaque ou de la pression artérielle (montrés par Spiegel et Demetriades sur l'animal, mais non confirmés expérimentalement sur l'homme), possibilité de réflexes respiratoires (sensation de respiration coupée dans l'ascenseur en descente accélérée).

riel) peut créer une forme intense de vertige : le vertige de Ménière, où les troubles viscéraux (nausées, vomissements) sont particulièrement intenses. Le vertige qui survient lorsque, après avoir un certain temps pivoté sur soi-même, on cesse brusquement ce mouvement, provient de la discordance entre la vue et la sensibilité profonde d'une part qui « réalisent » presque instantanément le retour au repos, et les canaux semi-circulaires d'autre part, où l'arrêt brusque de la rotation entraîne un courant d'inertie du liquide qui persiste un certain temps, procurant une illusion de rotation accélérée (en sens inverse de la rotation uniforme précédente).

Cependant des **suppléances** et des **accoutumances** peuvent s'établir lors d'une situation anormale ou pathologique qui entraîne le défaut ou la discordance d'avec les autres de l'une des composantes de ce complexe sensoriel. Le **rôle correcteur de la vue** est à ce propos dominant : par exemple, le tabétique, privé de sensibilité profonde, ne vacille au garde-à-vous que les yeux clos; le sourd-muet, privé des fonctions vestibulaires, a dans l'ensemble une équilibration correcte, bien plus correcte que celle du tabétique; cependant si on le fait plonger dans une piscine où la poussée d'Archimède compense en moyenne presque exactement le poids du corps, il devient incapable, les yeux fermés, de savoir où se trouve le fond

CENTRIFUGEUSE HUMAINE

Cet appareil américain permet l'étude de la tolérance du corps humain à l'accélération ; c'est le plus puissant du monde. Il peut simuler une altitude de 18 000 m. Il accélère du point mort à 280 km/h en 7 s et passe de 0 à 145 km/h en 1,5 s. La force exercée sur le sujet-cobaye est 40 fois plus intense que la pesanteur. L'appareil centrifuge est situé dans une chambre de 35 m de diamètre (A). La nacelle est suspendue par un double cardan à l'extrémité d'un bras entraîné par des moteurs montés sur ce dernier (B) ; elle peut ainsi être basculée dans tous les sens pour faire varier la direction d'application de l'accélération. Des fils relient le sujet-cobaye installé dans la nacelle (C) aux instruments enregistrant en particulier le rythme respiratoire, les battements du cœur et la pression sanguine.



et de quel côté il convient de diriger son effort pour remonter.

Moyennant ces données, mais sachant cependant leur caractère schématique, nous pouvons maintenant conjecturer les effets de l'absence de pesanteur.

LES EFFETS DE L'ABSENCE DE PESANTEUR : LES SENSATIONS

Ne seront pas affectés, parce que la pesanteur ne joue aucun rôle (ou un rôle très restreint) dans leur excitation normale : le sens de l'effort musculaire, le sens des attitudes, les canaux semi-circulaires, la vue.

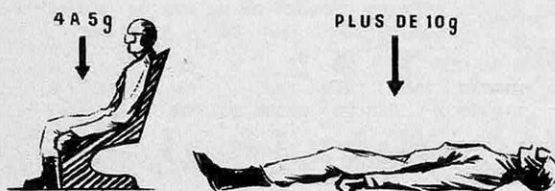
Seront au contraire profondément perturbées les sensations où la pesanteur est l'excitant normal ou principal et où cet excitant va manquer : le sens baresthésique et les otolithes.

Mais il faut bien remarquer la signification psycho-physiologique de cette absence physique d'excitation : il importe en effet, du point de vue sensoriel, de raisonner à partir de l'**état habituel d'excitation** des récepteurs qui sont normalement constamment excités, état qui joue en quelque sorte le rôle d'un « état-zéro ». Si bien que l'absence de pesanteur va se comporter, pour le sens baresthésique et surtout par les otolithes, non pas comme une suppression de sensation, comparable à celle que réalise chez certains sourds-muets l'absence congénitale de la fonction vestibulaire, mais comme une excitation très anormale par rapport à

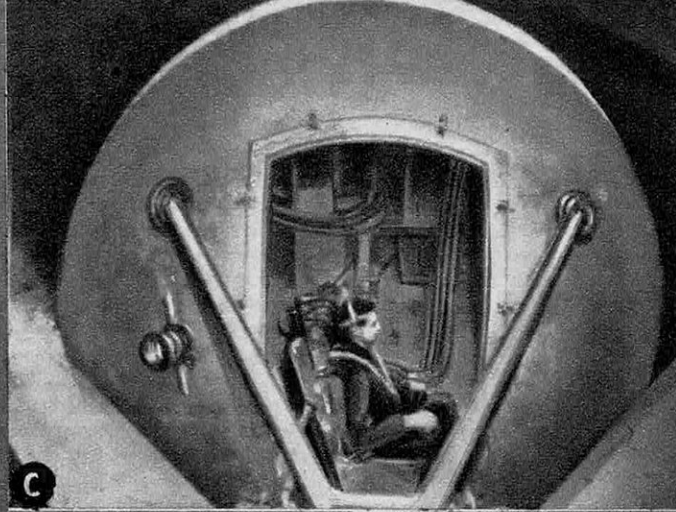
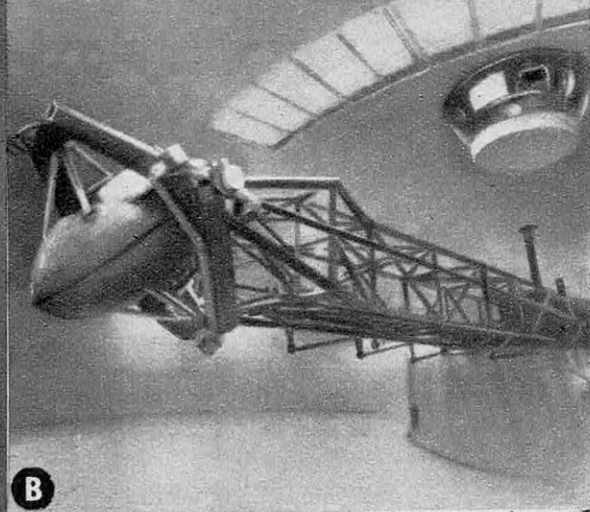
l'« état-zéro » défini ci-dessus par la valeur g habituelle de la pesanteur.

Cette sensation anormale sera une sensation de chute, dont l'impression pénible bien connue que l'on ressent au démarrage en descente d'un ascenseur rapide ne doit être que le pâle reflet. Nous avons vu en effet que la période de descente accélérée d'un ascenseur procure précisément cette sensation où, pour le sens baresthésique, le support semble se dérober sous le corps et où, pour les otolithes, la diminution de pression sur les cellules sensibles engendre une sensation spéciale de descente. Mais dans l'ascenseur, insistons-y encore, très vite le mouvement devient uniforme, ramenant les conditions normales : la sensation de chute ne dure pas. Dans la chute libre astronautique, au contraire, la durée sera beaucoup plus longue et les passagers auront vraiment l'impression d'une chute indéfinie.

Une question se pose alors : pourquoi, dans l'expérience de l'ascenseur, la sensation de descente accélérée est-elle pénible, alors que la sensation de montée accélérée ne l'est pas ou beaucoup moins ? Ceci est d'ailleurs confirmé par tous ceux qui ont éprouvé le mal de mer (ou le mal de l'air) où la sensation pénible, génératrice de nausées, atteint son maximum au moment où le bateau s'enfonce dans le creux de la vague (ou bien où l'avion descend brutalement dans un « trou d'air »), correspondant à une diminution de la pesanteur apparente. Peut-être y a-t-il là une implication psychologique inconsciente où intervient la peur « instinctive » de l'état de chute ; peut-être faut-il y voir aussi une raison plus physiologique que Haber et Gerathewohl croient trouver dans une façon très particulière de considérer la loi de Weber-Fechner. On sait que celle-ci peut s'énoncer : « l'intensité (psychologique) de la sensation est proportionnelle au logarithme de l'intensité (physique) de l'excitant ». Prenant alors comme valeur zéro de la sensation celle qui correspond à la pesanteur normale, ces auteurs montrent, en vertu des propriétés de la fonction logarithmique, que les diminutions de la pesanteur apparente doivent correspondre à des sensations bien plus fortes que des aug-



● Accélération suivant le sens tête-siège : le cœur ne peut faire circuler vers le haut un sang 4 à 5 fois plus lourd. Accélération suivant le sens ventre-dos : perpendiculaire aux plus gros vaisseaux, elle est mieux tolérée.



mentations de même valeur. Mais cette manière très particulière, il faut le redire, d'envisager la loi de Weber-Fechner, en prenant comme sensation nulle l'état auquel nous sommes accoutumés et non (comme on le fait par exemple pour l'audition) le seuil absolu de la sensation (pour le cas de la pesanteur ce seuil absolu n'aurait pas de sens), nous paraît passible de certaines critiques, que nous ne pouvons détailler ici.

Quoi qu'il en soit de cette tentative d'explication, un facteur supplémentaire peut venir modifier cette sensation de chute d'origine barothésique et vestibulaire : c'est l'**influence de la vue**. L'absence de perspective mettra les sensations visuelles en **complète discordance** avec cette sensation de chute. Il est donc à prévoir que son caractère, déjà pénible en lui-même, sera aggravé par cette discordance et qu'un **vertige intense** apparaîtra.

Mais il est également probable que les impressions visuelles, sources de discordance, donc facteur aggravant au début, pourront, si les sujets ont pu surmonter cette période de troubles, devenir **facteur de suppléance** ou mieux de **correction** (comme elles le font pour le tabétique privé de sensibilité profonde) et qu'une **accoutumance** à cet état nouveau se produira. Haber et Gerathewohl admettent comme « hypothèse de travail » la possibilité de cette adaptation avec construction d'un nouvel « état-zéro » psychologique. Ce que nous ignorons et que nous ignorerons jusqu'à ce que l'expérience elle-même vienne nous l'apprendre, c'est **le temps au bout duquel cette adaptation pourra se produire**. Il est cependant vraisemblable que pareille accoutumance sera plus facile à obtenir si le passage entre gravité égale à g et gravité nulle s'accomplit très progressivement. Ceci peut être rendu effectif si l'on dispose d'assez de « propulsif » pour ne pas supprimer brutalement la propulsion, et qu'on la réduise peu à peu, à un rythme qu'il ne nous est d'ailleurs pas possible de prévoir en l'absence de données physiologiques expérimentales. Cependant, dans le cas envisagé déjà d'une panne brutale du propulseur,

les passagers seraient exposés à ce passage soudain d'un état non nul à l'état sans pesanteur.

Supposant réalisée cette adaptation à l'état sans pesanteur, Haber et Gerathewohl envisagent les sensations que devraient éprouver les astronautes lors de leurs déplacements dans l'astronef. Elles sont fort curieuses.

Tout d'abord, comme l'a remarqué M. Esclançon, la réalisation de ces déplacements devra s'effectuer selon des modes très inhabituels : la marche est impossible, car elle nécessite appui et frottement des pieds sur le plancher, conditionnés par la pesanteur. Les déplacements devront se faire soit à proximité des parois en se poussant avec les mains ou les pieds, soit à distance des parois en y prenant appui avec une gaffe à la manière des marinières. Sitôt après cette impulsion donnée, le centre de gravité du corps prendra un mouvement rectiligne uniforme qui devra être freiné en s'appuyant sur la paroi d'arrivée. Il est à remarquer que, sans pesanteur, il n'y a plus de verticale, donc ni haut ni bas pour le sujet au repos, et que les mouvements dans le sens plancher-plafond (au sens habituel avant l'établissement de la chute libre) seront aussi faciles que les mouvements latéraux. De plus, il faudra faire attention à la manière dont les propulsions par les mains ou les pieds seront dirigées : leur direction devra passer par le centre de gravité du corps si l'on veut obtenir une translation globale; sinon une rotation du corps autour de son centre de gravité s'y ajouterait, qui pourrait produire des pirouettes assez grotesques. Mais de telles rotations obtenues par impulsions à partir de points d'appui seront nécessaires pour que le sujet puisse se retourner, à moins que, sans point d'appui, il n'apprenne la manœuvre qu'exécute le chat pour retomber toujours sur ses pattes quand on le laisse tomber le dos en bas (1).

Mais au cours des phases d'accélération et de freinage de ces déplacements, l'excitation des mécano-récepteurs, en particulier des oto-

(1) Ce n'est d'ailleurs pas facile, car les réflexes d'origine vestibulaire jouent un grand rôle dans cette manœuvre du chat; or ces réflexes seront profondément perturbés.

lithes, va engendrer des sensations elles aussi fort curieuses.

Avant le départ, au repos, la désorientation dans l'espace serait totale si la vue ne venait fournir des repères. Supposons alors que le sujet debout sur le plancher (au sens terrestre) de la cabine veuille atteindre le plafond. Pour ce faire, il pourra se donner une impulsion avec ses pieds : alors apparaît une force d'inertie dirigée vers le plancher (toujours en sens inverse de l'accélération) et la sensation de pesanteur reparaitra : le sujet localisant la « verticale » dans la direction de cette force d'inertie, elle lui paraîtra de même sens que la pesanteur habituelle. Puis, après un court trajet à vitesse uniforme où il retrouve son accoutumance à l'état sans pesanteur, le sujet arrive au plafond où il freine son mouvement en s'y appuyant avec les mains : là encore apparaît une force d'inertie opposée à l'accélération du mouvement, donc dirigée alors **vers le plafond** ; la verticale sera encore localisée dans la direction de la force d'inertie et le sujet aura l'impression de marcher sur les mains « tête en bas ». Il se sera produit un « retournement subjectif » de 180°. Or ceci vaudra pour tout mouvement et la paroi d'appui sera toujours perçue comme le « plancher ». Ces sensations seraient là encore au début en discordance avec les impressions visuelles, et une adaptation supplémentaire devrait s'établir.

LA COORDINATION DES MOUVEMENTS

Nous venons d'imaginer les astronautes se déplaçant activement dans l'astronef et de supposer, à partir d'un état d'adaptation sensorielle à l'absence de pesanteur, leur coordination des mouvements correcte.

Revenons au stade de début ; il est certain que cette coordination des mouvements ne sera pas alors correcte. Habitué que nous sommes à fournir, pour réaliser tel déplacement donné de notre corps, un effort proportionné à l'action antagoniste exercée par la pesanteur, ne serons-nous pas induits en erreur par l'absence de cet antagonisme et conduits à mettre en jeu une énergie devenue excessive ? Un effort musculaire donné ayant animé une partie de notre corps d'une certaine vitesse et lui ayant imprimé un mouvement que, normalement, freinerait la pesanteur, il sera nécessaire qu'une action musculaire nouvelle, volontaire et inhabituelle, intervienne pour remplacer cette action frénatrice. Ainsi se trouvera réalisée une **ataxie** de nature très spéciale, bien différente de l'ataxie du malade tabétique ou cérébelleux (1), en ce sens que l'appareil de contrôle, intact chez un sujet sain, sera probablement susceptible de s'adapter. Mais de même que l'on n'apprend pas à nager ou à

faire du ski en cinq minutes, il y faudrait là aussi un temps d'adaptation dont nous ne pouvons avoir idée.

LES REFLEXES VISCÉRAUX

Nous avons déjà signalé l'existence de réflexes viscéraux à point de départ vestibulaire. Ces réflexes, spécialement digestifs, sont ceux qui surviennent lors du mal de mer ou du mal de l'air. Ils sont particulièrement intenses lorsque existe un vertige. Nous ne pouvons pas savoir si, lors de l'excitation anormale que constitue l'établissement de l'état sans pesanteur, leur intensité ne deviendra pas telle qu'elle pourra mettre en danger la vie même du sujet, entraînant par exemple une syncope cardiaque ou respiratoire ; cette éventualité très grave est rendue vraisemblable par l'observation, il est vrai tout à fait exceptionnelle, de cas sévères de mal de l'air avec prostration, pouls petit et filant, chute de la pression artérielle.

C'est donc l'apparition possible de tels réflexes qui paraît représenter l'obstacle majeur du voyage en chute libre. Peut-être cependant n'est-il pas insurmontable. Pratiquement, il faudrait examiner la sensibilité vestibulaire des candidats et, sans exiger des sourds-muets pour faire des astronautes, éliminer les « hyperexcitables » et choisir de préférence les « hypoexcitables » ; ceux-ci coïncident d'ailleurs presque toujours avec les personnes insensibles au mal de mer (que les sourds-muets ne ressentent pratiquement jamais).

Par ailleurs, une préparation pharmacologique convenable, comme pour le mal de mer, (barbituriques, atropine ou alcaloïdes similaires, nautamine, etc.), permettrait probablement d'atténuer ce risque dans une assez large mesure.

PROBLÈMES PHYSIOLOGIQUES ACCESSOIRES

Les questions soulevées par l'alimentation présentent seulement un caractère amusant : tout aliment parvenu dans la bouche pourra sans difficulté être dégluti, la pesanteur ne jouant qu'un rôle restreint dans cette fonction que suffisent à assurer les contractions des muscles de la langue, du pharynx et de l'œsophage. Mais si la préhension par une fourchette des aliments solides ne sera que peu modifiée, la boisson le sera entièrement : cuillers, verres, bols et tasses seront objets parfaitement inutiles, puisqu'un liquide se maintiendra dans l'espace sans support sous forme d'une sphère (en raison de sa tension superficielle). Il ne saurait être question de le faire sortir d'un récipient en le versant. Pour boire, les astronautes seront obligés, ou bien de pomper directement dans la bouteille par une paille ou un tuyau quelconque, ou bien, de façon plus pittoresque, d'utiliser une « bouteille seringue » dont la pression sur le piston éjecterait la quantité désirée de liquide ; celle-ci, maintenue dans l'espace sous forme de sphère, pourrait être happée des lèvres par le buveur.

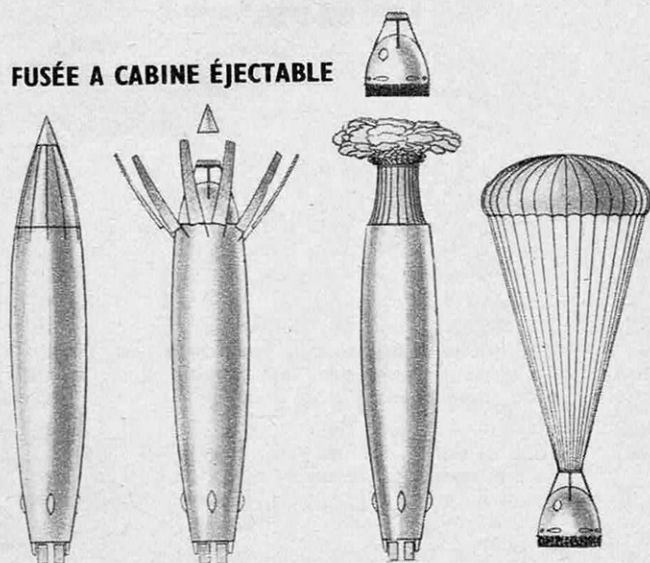
(1) On nomme ainsi les malades atteints d'une lésion du cervelet ou des voies qui y conduisent. Le cervelet est en effet un des principaux centres de coordination des mouvements. L'ataxie cérébelleuse, différente de l'ataxie tabétique, est essentiellement caractérisée par un tremblement qui n'apparaît que lors des mouvements volontaires.

Des problèmes un peu particuliers seraient soulevés par l'utilisation du système Deisch; on sait que cet auteur avait proposé, pour éviter précisément les troubles causés par la chute libre, de remplacer la pesanteur par une force centrifuge produite par rotation de l'astronef préalablement scindé en deux moitiés maintenues par un câble, autour du centre de gravité de l'ensemble. Outre le fait que ce système présenterait probablement des difficultés inextricables à « l'atterrissage », il aurait, au cours du trajet lui-même, un inconvénient au point de vue physiologique. Pour réaliser en effet une force centrifuge donnant une pesanteur apparente voisine de g sans employer un rayon de rotation démesurément grand, il faudrait animer l'astronef de vitesses angulaires assez élevées. Or, dans un système entraîné par un mouvement de rotation, tout mouvement relatif s'accompagne, en vertu du théorème sur la composition des accélérations, d'une force d'inertie qui s'ajoute à la force centrifuge: la force centrifuge composée, correspondant à ce que la mécanique appelle « accélération de Coriolis ». Cette force est perpendiculaire à la fois à la vitesse relative du mobile à l'intérieur du système entraîné et à l'axe de rotation d'entraînement de ce système; sa grandeur est proportionnelle à la vitesse relative, à la vitesse angulaire d'entraînement et au sinus de l'angle formé par la vitesse relative et l'axe de rotation d'entraînement.

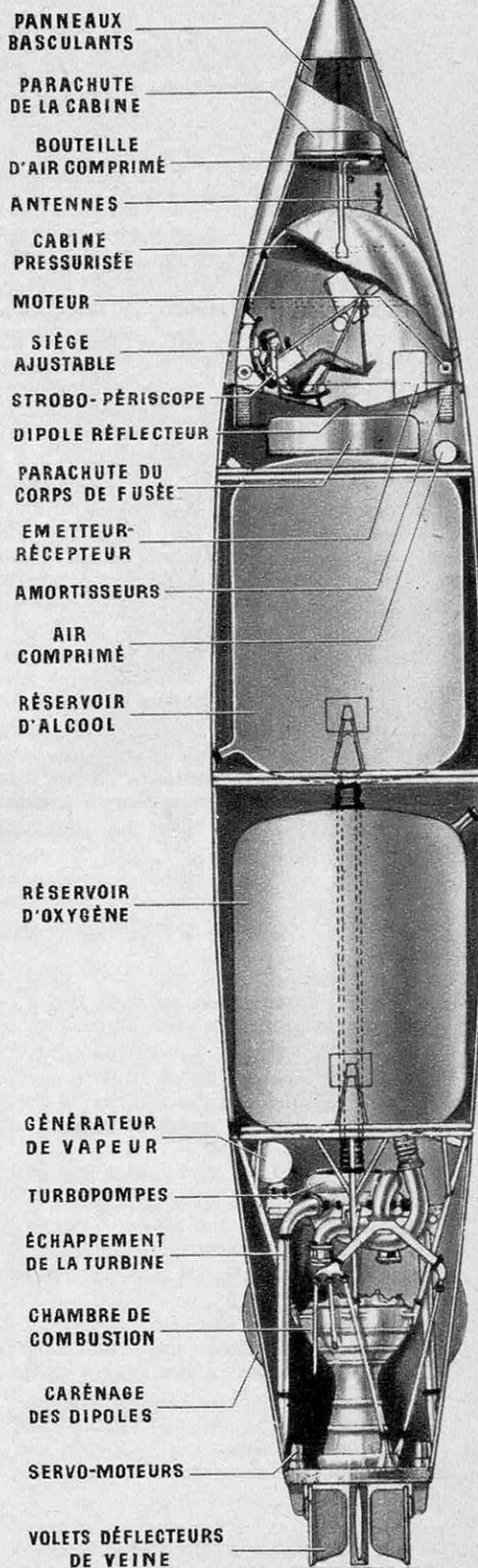
Or on peut montrer qu'une telle force de Coriolis peut exciter de façon non négligeable les organes du vestibule lors de mouvements brusques de la tête. Comme ces forces agissent dans une direction différente de celle des mouvements qui lui donnent naissance, les sensations vestibulaires qu'elles engendrent représentent une **illusion** qui peut être génératrice de vertige.

Dans un tel système, ou bien si pour une cause ou une autre l'astronef venait de prendre sur lui-même une rotation rapide (qu'il faudrait arrêter au plus tôt par un jeu convenable de fusées latérales), il faudrait que les passagers fussent prévenus de ce danger et prissent la précaution de ne mouvoir leur tête qu'avec lenteur,

FUSÉE A CABINE ÉJECTABLE



CE PROJET DE FUSÉE avec pilote établi en 1946 par les Anglais R. A. Smith et H. E. Ross, doit atteindre l'altitude de 280 km en 6 mn 16 s. Elle permettra d'étudier au-delà de l'atmosphère, d'une part le comportement de l'organisme humain, d'autre part des phénomènes physiques tels que l'étendue de la couronne solaire et la spectrographie de la



photosphère. La cabine insérée dans le nez de la fusée est éjectée par de l'air comprimé à la fin de la propulsion, la vitesse étant alors de 7 500 km/h environ. Le corps de la fusée est ramené au sol par un parachute. La cabine atteint le sommet de la trajectoire 228 s après la séparation, puis elle effectue sa descente au sol freinée par un parachute.

L'EXPÉRIMENTATION EN CHUTE LIBRE

Telles sont les perspectives physiologiques, assez peu encourageantes d'ailleurs, que le raisonnement sur les données connues permet d'évoquer à propos de la chute libre. Nous avons vu que bien des lacunes y subsistent, que seule pourra combler l'expérimentation.

Or celle-ci est impossible ou presque à réaliser sur le sol terrestre. Un calcul élémentaire montre en effet qu'une chute libre (dans le vide, ou convenablement accélérée de manière à annuler l'effet de la résistance de l'air) d'une course de 300 mètres (par exemple dans un puits de mine, dont la profondeur devrait être au moins double pour assurer le freinage) durerait 7,8 secondes. La faible durée d'une telle expérience ne vaudrait pas les dépenses élevées de sa réalisation. Mais récemment F. et H. Haber ont imaginé des possibilités nouvelles utilisant l'avion. L'une d'elles est d'ores et déjà réalisable avec les moyens actuels. Il serait en effet possible de faire décrire à un avion la parabole théorique que décrirait un mobile pesant lancé dans le vide et avec la même loi de mouvement. Le moteur de l'avion servirait à fournir la vitesse initiale nécessaire et à compenser à chaque instant l'écart que la résistance de l'air produirait par rapport à ce mouvement théorique si cette propulsion n'existait pas.

Or un mobile, qui décrit une parabole, trajectoire d'un corps pesant dans le vide avec la même loi de mouvement, est en chute libre. La seule force agissante est la gravité; à bord d'un tel mobile, la pesanteur apparente est nulle.

Les possibilités de durée d'une telle expérience sont limitées par deux facteurs : la vitesse maximum admissible pour l'avion et la vitesse minimum nécessaire à la sustentation à l'altitude atteinte. Avec une vitesse initiale de l'ordre de 700 km/h et un angle de montée de 45°, on pourrait obtenir ainsi un état sans pesanteur pendant environ 30 secondes.

Une autre possibilité concerne l'avenir : ce serait l'éventualité d'un avion ou d'une fusée ayant pu atteindre l'altitude d'une trentaine de kilomètres, où la densité de l'air n'est plus que 1/100 de celle du sol. Si l'engin coupait alors sa propulsion, il serait dans un état très proche de la chute libre, car la résistance de l'air très faible ne freinerait que très peu son mouvement. Si la vitesse initiale était convenablement dirigée, la durée d'un tel état voisin de la chute libre pourrait devenir fort appréciable. Encore faudrait-il que l'engin fût capable de maîtriser ensuite les vitesses considérables qu'il atteindrait.

On voit que les durées actuellement réalisables sont très courtes par rapport à celles qui interviendraient en astronautique; elles seraient presque certainement très insuffisantes pour obtenir l'adaptation à l'état sans pesanteur évoqué plus haut. Cependant les résultats seraient puissamment intéressants. À notre connaissance, ces expériences n'ont pas encore été réalisées. D'ailleurs les troubles psycho-

Cette année, au Nouveau-Mexique (Etats-Unis), 2 souris et 2 singes sont montés en fusée à une centaine de kilomètres. Durant le voyage, leurs réactions physiologiques étaient transmises par radio et une caméra a filmé les souris pendant la « chute libre ». Tous ont atterri en parfaite santé, mais l'un des singes emmenés est mort d'insolation dans le désert avant qu'on ne l'y recueille.

sensoriels et réflexes, que le raisonnement amène à prévoir, sont tels que l'on ne pourrait risquer de laisser la conduite de l'avion à un pilote humain; il devrait être télécommandé

LE FREINAGE A L' « ATERRISSAGE »

Le problème mécanique est du même ordre, qu'il s'agisse du retour sur la Terre ou de l'arrivée sur l'astre but du voyage. Il s'agit de réduire convenablement la vitesse à partir d'un certain instant de manière que l'arrivée au sol de l'astronef se fasse à vitesse quasi nulle. La manière la plus efficace d'effectuer ce freinage sera de « retourner » l'astronef et de faire agir le propulseur de façon qu'il s'oppose à l'attraction de gravitation de l'astre d'arrivée.

Il faudra simplement s'arranger pour que ce retournement se fasse à vitesse angulaire suffisamment faible pour ne pas créer une force centrifuge dangereuse ou risquer de produire, lors des mouvements des passagers, des forces de Coriolis appréciables.

La valeur de cette accélération de freinage pourra toujours, pour les trois astres voisins : Lune, Mars et Vénus, être ajustée à une valeur inférieure à g , si bien que les problèmes physiologiques soulevés seront exactement les mêmes que ceux que nous venons d'envisager ci-dessus.

PROTECTION CONTRE LES RADIATIONS

Des radiations nocives pourraient atteindre l'astronef et ses passagers du fait de deux causes principales :

— le moteur nucléaire employé éventuellement.

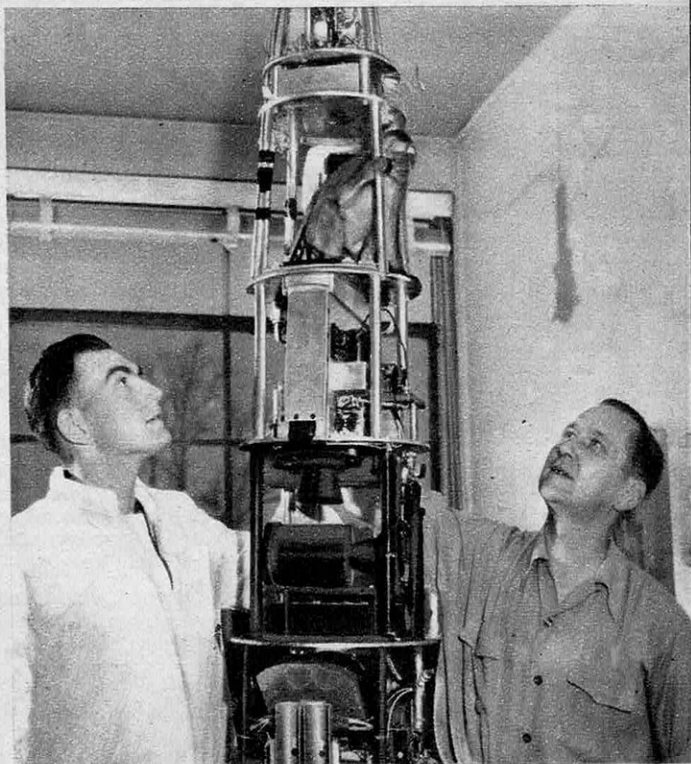
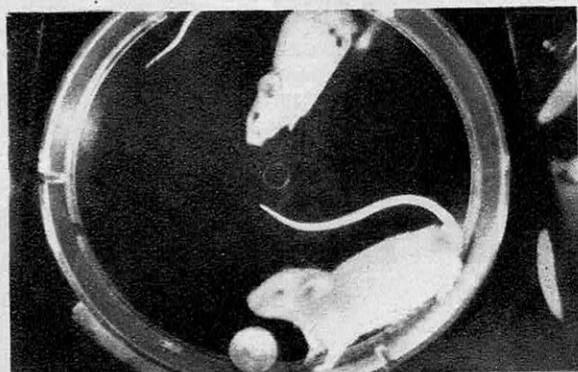
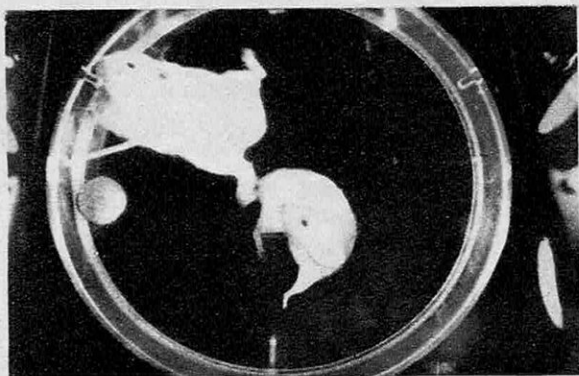
— l'absence de la protection que réalise normalement l'atmosphère terrestre.

Les problèmes que posent le premier ont déjà été évoqués dans un précédent chapitre. Aussi nous bornerons-nous à quelques considérations complémentaires.

Deux sortes de rayonnement sont à craindre :

— les **rayonnements particulaires**, contre lesquels la protection sera assez aisée : des épaisseurs assez faibles d'un métal lourd suffisent à arrêter protons et électrons même doués d'une grande énergie. Les neutrons sont arrêtés par des épaisseurs plus grandes (mais d'un poids de même ordre) de corps légers;

— les **rayonnements gamma** sont plus difficiles à arrêter et il semble probable que, dans le cas du moteur nucléaire situé à proximité de la cabine d'habitation, des épaisseurs très grandes d'un métal aussi lourd que possible seraient nécessaires (il ne paraît pas téméraire d'avancer un ordre de grandeur de plusieurs décimètres de plomb). On voit



l'énorme poids supplémentaire dont cette cuirasse surchargerait l'astronef. Il est vrai qu'au prix de difficultés de construction et de navigation, on pourrait concevoir de jouer sur la loi de décroissance rapide de l'intensité du rayonnement en fonction de la distance (loi de l'inverse du carré des distances) et d'éloigner convenablement le propulseur de la cabine.

L'absence de protection par l'atmosphère va soumettre l'astronef :

— **au rayonnement solaire intégral**; on sait que la couche d'ozone de la haute atmosphère abrite le sol des radiations ultraviolettes de courte longueur d'onde (inférieures à 0,27 micron) dont l'effet nuisible sur les cellules vivantes est maximum. Cependant l'existence de ces radiations ne semble pas devoir amener grande difficulté; elles sont très facilement arrêtées, par exemple par quelques millimètres de verre ordinaire.

— **au rayonnement cosmique** dont on sait que l'intensité augmente considérablement avec l'altitude en même temps que la composition se modifie, tendant vers ce qu'on appelle le rayonnement primaire.

Le problème de ses effets biologiques a été récemment étudié par H. J. Schaefer non pas tant d'ailleurs du point de vue astronautique que pour les avions stratosphériques.

Cet auteur s'attache à montrer les effets nocifs possibles des protons qui composent la plus grande partie du rayonnement primaire, et surtout des noyaux lourds, peu nombreux, mais dont l'énergie considérable (de l'ordre de plusieurs dizaines de milliards d'électronvolts) et surtout le pouvoir ionisant considérable (de 100 à

1 000 fois celui des rayons α) et la grande pénétration relative dans les tissus (de l'ordre d'une dizaine de cm) rendraient les effets biologiques dangereux, dépassant le seuil de tolérance de longue durée (estimé d'ailleurs assez hypothétiquement à partir de nos connaissances sur la toxicité des rayons alpha lors de l'introduction dans l'organisme de substances radioactives). Cependant, si, pour l'aviation stratosphérique, ces rayonnements doivent constituer une difficulté technique considérable, il ne semble pas qu'il en soit de même pour un astronef qui sera probablement un engin très lourd; en effet, Schaefer, en se fondant sur l'épaisseur de l'air atmosphérique terrestre qui les arrête, calcule que des épaisseurs d'aluminium de l'ordre de 20 cm seraient suffisantes. Ce calcul ne tient compte que de la masse de matière et non d'une spécificité d'absorption selon la nature du noyau (encore mal connue); dans ces conditions, des épaisseurs de l'ordre de 5 cm de plomb ou de 6 à 7 cm de cuivre seraient équivalentes pour la protection; on voit que ces valeurs rentrent dans l'ordre de grandeur acceptable pour les parois de l'astronef et que leurs poids sont faibles par rapport à celui de la cuirasse nécessaire à la protection contre les radiations du propulseur.

Telles sont les perspectives principales que soulève le passionnant problème des voyages astronautiques. Souhaitons que les hommes de notre temps s'attachent à les résoudre plutôt que de tenter de s'entre-détruire de continent à continent.

Louis Gougerot.

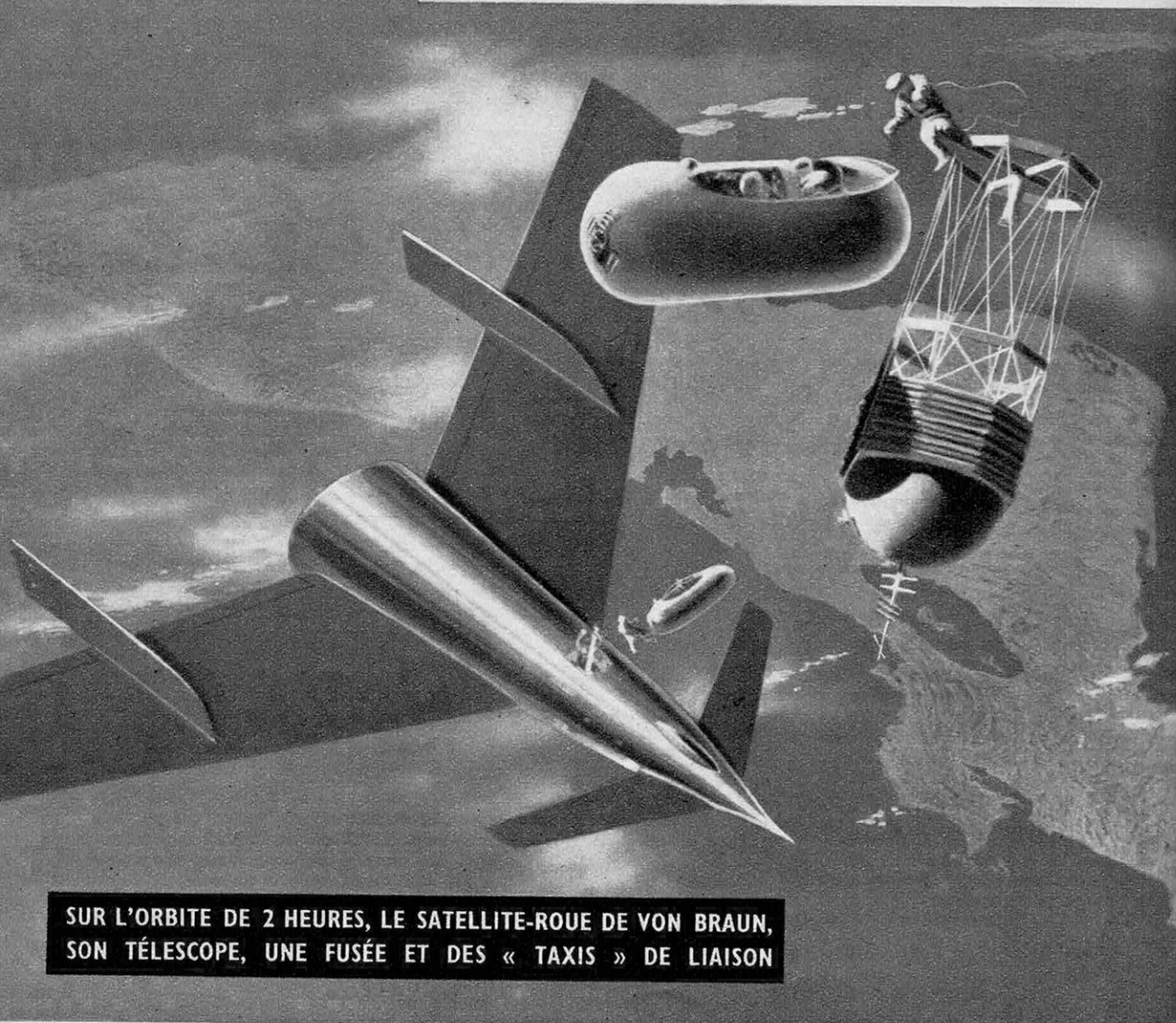
Professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris.

LES SATELLITES ARTIFICIELS ET

LA construction d'un satellite artificiel, station interplanétaire tournant autour de la Terre à la manière de la Lune, n'est pas une proposition nouvelle. Les spécialistes allemands de l'astronautique en discutaient dès 1923 et quelques-uns avaient réussi, à l'époque où l'on étudiait les fusées A-9 et A-10 pour bombardement intercontinental, à obtenir un concours financier des dirigeants du Reich; l'étude ne dépassa d'ailleurs pas le stade théorique.

Mais l'opinion publique ne commença à s'intéresser à la question qu'après la publication du rapport annuel au Congrès présenté en décembre 1948 par M. James V. Forrestal; le Secrétaire à la Défense des Etats-Unis y suggérait que les études de ces engins, jusqu'alors dispersées, fussent confiées à un seul organisme responsable du « Earth Satellite Vehicle Program ».

L'idée a fait du chemin depuis. Le premier Congrès Inter-



SUR L'ORBITE DE 2 HEURES, LE SATELLITE-ROUE DE VON BRAUN, SON TÉLESCOPE, UNE FUSÉE ET DES « TAXIS » DE LIAISON

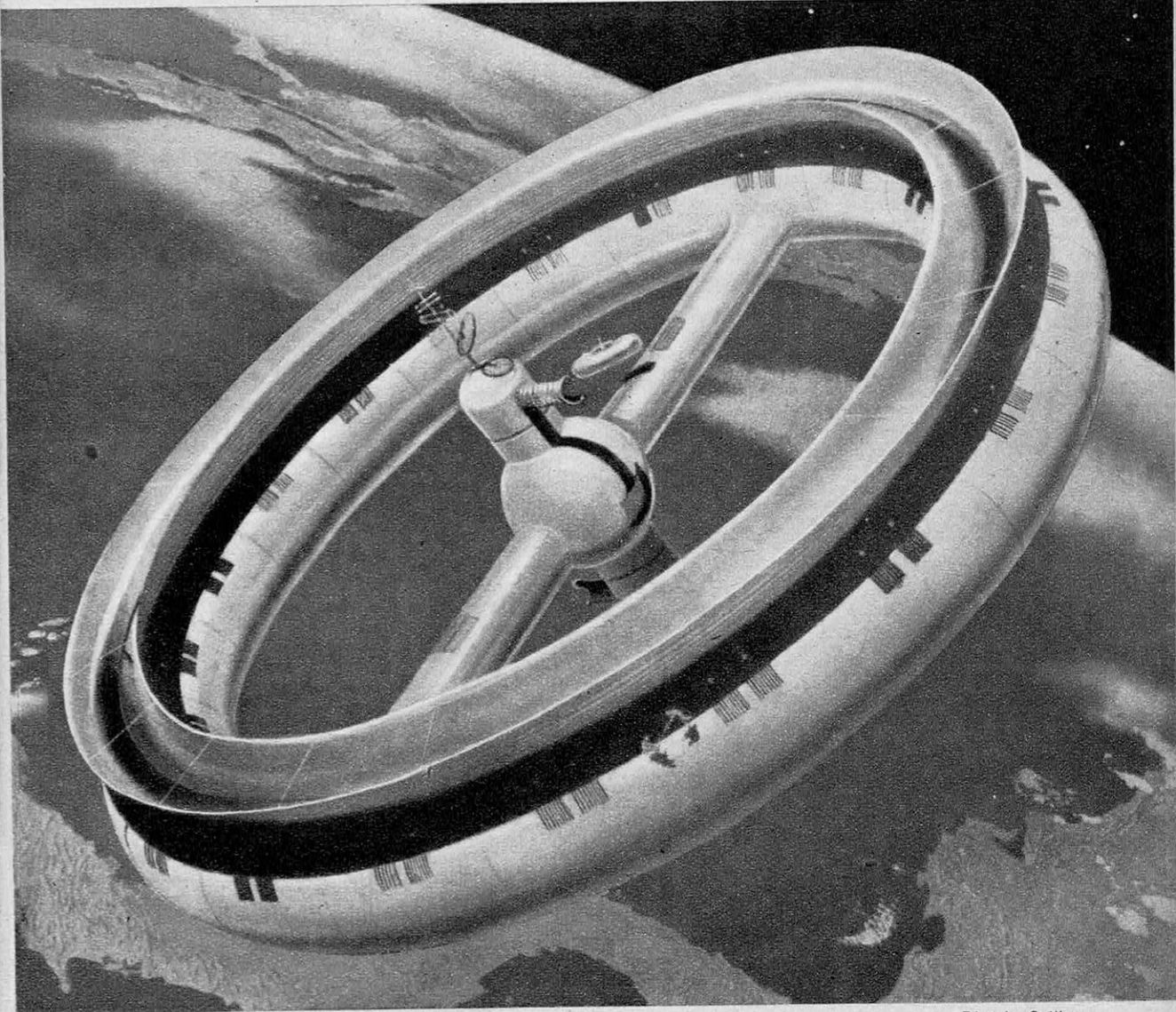
LES VOYAGES COSMIQUES

national d'Astronautique, réuni en septembre 1950 à Paris, décida à l'unanimité que le satellite artificiel serait le thème choisi pour le deuxième congrès, qui se tint à Londres en septembre 1951. Seize mémoires traitant des différents aspects du problème furent discutés. Le texte intégral des six mémoires présentés par les membres de la « British Interplanetary Society », accompagné d'un résumé des mémoires américains, français, allemands et autrichiens, a été publié depuis sous le titre « The Artificial Satellite » (1).

(1) Editions : « The British Interplanetary Society », 12 Bessborough Gardens, Londres S.W. 1.

L'INTÉRÊT DU SATELLITE ARTIFICIEL

Les techniciens allemands des engins-fusées, et après eux James Forrestal, avaient surtout en vue les applications militaires des satellites artificiels. Quand on en examine les possibilités d'un peu près, elles paraissent assez problématiques. L'idée de porter l'incendie dans les centres industriels ou agricoles d'un pays ennemi par la concentration des rayons solaires au moyen de larges miroirs n'est plus aujourd'hui défendue sérieusement. Bombarder la Terre serait à priori plus aisé et on peut concevoir qu'avec une combinaison de téléguidage

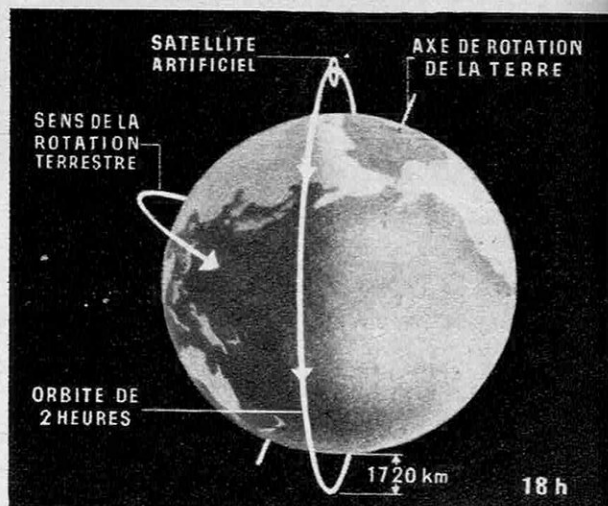


Le satellite artificiel conçu par von Braun est à 1 720 km d'altitude sur l'orbite de 2 heures, c'est-à-dire qu'il fait en 2 heures le tour complet de la Terre. Le plan de son orbite est convenablement incliné sur l'équateur pour que, la Terre effectuant un tour complet sur elle-même en 24 heures, les occupants de la station voient défilé chaque jour au-dessous d'eux, tranche par tranche, la totalité de la surface de la terre, mers et continents.

à partir du satellite artificiel et d'autoguidage quand le projectile est parvenu à proximité du but, on puisse atteindre avec une précision satisfaisante n'importe quel point d'un territoire ennemi, aussi étendu soit-il. Mais étant donné les performances des bombardiers actuels à turboréacteurs et celles qu'atteindront demain les bombardiers à moteurs fusées, pour ne pas parler des engins autopropulsés téléguidés, on peut trouver pour le bombardement stratégique intercontinental des solutions beaucoup plus économiques et d'une efficacité au moins égale.

Le satellite artificiel constituera par contre un poste d'observation idéal. Des télescopes, même peu puissants, combinant l'observation visuelle avec la prise de photographies, révéleront aisément les mouvements de troupes, la préparation d'une offensive, l'installation d'un centre industriel ou d'un aérodrome et même sans doute la simple mise en batterie d'une pièce lourde. L'adversaire, après avoir épuisé les ressources du camouflage, sera réduit à transférer sous terre la plupart de ses activités; mais ne devra-t-il pas le faire de toute façon pour les soustraire aux bombardements?

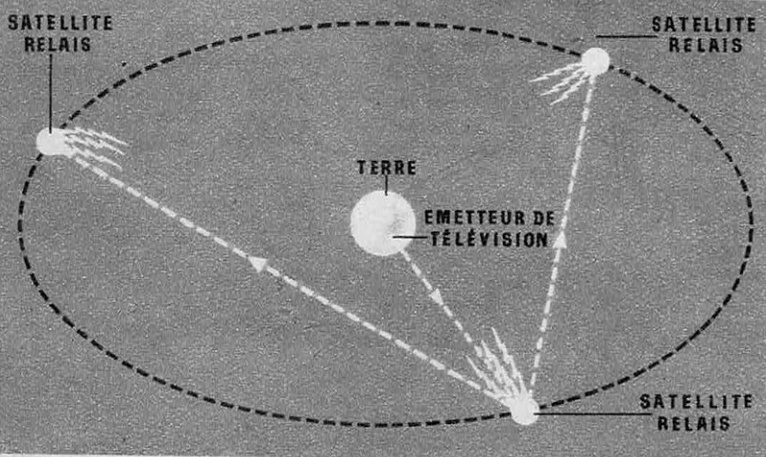
Bien entendu, on ne pourra, du satellite, embrasser d'un seul coup d'œil l'ensemble de la surface terrestre, ni même d'un seul hémisphère. La rotondité de la Terre, la présence de l'atmosphère qui réfracte les rayons lumineux feront que seul un territoire assez restreint, large tout au plus de quelques milliers de kilomètres pour un satellite proche, pourra être vu nettement, centré sur la verticale. On voit, tout de suite, qu'un tel satellite-observatoire ne devra pas être lancé dans le plan équatorial



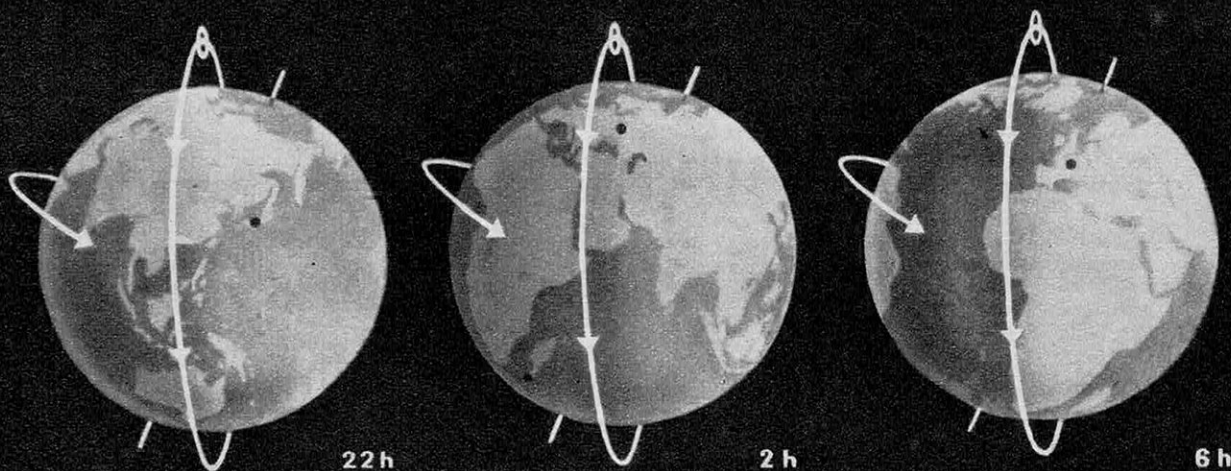
de la Terre, car il verrait défilé indéfiniment au-dessous de lui la même bande équatoriale. Il faudra lui donner une orbite inclinée et la choisir telle que la période de révolution combinée avec la rotation de la Terre lui permette d'explorer la totalité de la surface terrestre dans un temps raisonnable. Ainsi Wernher von Braun, dans le projet que nous évoquerons plus loin, choisit une orbite inclinée, à 1 720 km d'altitude, ce qui correspond à une période de révolution de 2 heures. A chaque tour, l'équipage du satellite peut apercevoir le douzième de la surface terrestre et il peut par conséquent passer une inspection complète en 24 heures.

Mais il ne faut pas se dissimuler que le satellite artificiel sera extrêmement vulnérable. Il n'y a aucune raison d'admettre qu'un des belligérants possède sur l'autre une avance technique écrasante. Si l'un a su construire des fusées capables d'établir un satellite à 1 000 ou 2 000 km d'altitude, l'autre construira bien plus aisément des fusées capables de le détruire et contre lesquelles il n'y aura aucune parade efficace. Le corps étranger dans le ciel sera vite repéré, au radar ou au théodolite, les astronomes calculeront les éléments de son orbite et les fusées s'envoleront pour l'y trouver à un point déterminé, terminant leur course à l'aide d'une tête chercheuse doublée d'une fusée de proximité.

Certaines applications civiles du satellite artificiel seraient assez plausibles. Il pourrait constituer un laboratoire idéal pour les recherches à haute altitude : rayons cosmiques, propaga-



◆ Parmi les applications des satellites artificiels, une des plus séduisantes serait leur emploi comme relais pour la diffusion mondiale des programmes de télévision. Trois satellites gravitant sur la même orbite suffiraient à relayer automatiquement une même émission à tous les postes récepteurs du globe.

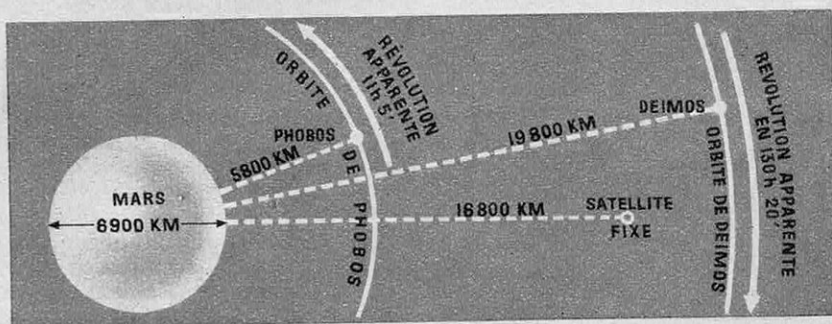


D'après Colliers.

tion des ondes radioélectriques à travers l'ionosphère, rayonnement ultraviolet des astres, champ magnétique terrestre, etc. Il rendrait les plus grands services à la météorologie, en permettant d'embrasser d'un seul coup d'œil l'ensemble des systèmes nuageux couvrant une partie importante des mers et des continents. Il pourrait constituer un relais de télévision capable de diffuser sur de vastes régions du globe. On a proposé, en particulier, d'utiliser un ensemble de trois satellites, répartis sur la même orbite pour former un triangle équilatéral. Celui qui, à un instant donné, serait le plus proche de la station émettrice terrestre

interplanétaire. Dans les conditions les plus économiques, le moins difficile des voyages, le parcours Terre-Lune et retour, comportant au moins deux périodes d'accélération au départ de la Terre et de la Lune et deux périodes de freinage à l'accostage sur la Lune et au retour sur la Terre, exigerait, avec les vitesses d'éjection qu'on peut obtenir des combustibles chimiques, des « rapports de masse » (rapport du poids total au départ au poids de l'engin après épuisement de son combustible) considérables qui conduiraient, même avec des fusées à multiples étages, à des engins énormes n'emportant encore qu'une charge utile très réduite.

● Les deux satellites de Mars tournent autour de lui dans le sens de sa rotation sur lui-même, Phobos en 7 h 39 mn et Deimos en 30 h 18 mn (durée du jour martien : 24 h 37 mn). Leurs révolutions semblent donc de sens contraire pour un observateur Martien. Un satellite gravitant sur l'orbite de 16 800 km accomplirait sa révolution en 1 jour martien ; il semblerait donc immobile.



recevrait son émission, la retransmettrait pour son propre compte et servirait de relais pour les deux autres. Ainsi on réaliserait une diffusion mondiale et permanente sur l'ensemble de la Terre.

Mais l'intérêt principal du satellite artificiel réside en ce qu'il peut constituer la première étape de la conquête des espaces interplanétaires, étape qui ne semble déjà plus hors de portée dans l'état actuel de la technique. Peut-être même sera-t-elle la seule que l'homme pourra atteindre tant qu'il n'aura à sa disposition que l'énergie chimique pour la propulsion des fusées.

Dans l'introduction qu'il a présentée aux travaux du Congrès, le Dr L. R. Shepherd, directeur technique de la British Interplanetary Society, a insisté sur cet aspect de la navigation

De tels engins seraient absolument irréalisables. Au contraire, le voyage aller et retour jusqu'à un satellite d'altitude voisine de 500 km n'exigerait que des rapports de masse modérés et des engins de dimensions acceptables, que l'on pourrait encore réduire par le retour à la surface de la Terre avec freinage atmosphérique qui ne réclame en principe pas de carburant. Plusieurs voyages ayant amené sur le satellite les matériaux nécessaires au montage d'une autre fusée, ou tout simplement le combustible nécessaire au ravitaillement d'une des fusées venues de la Terre, celle-ci entreprendrait le voyage satellite-Lune et retour, avec éventuellement arrêt de nouveau sur le satellite pour un ultime ravitaillement en vue du retour sur la Terre.

Il ne faudrait pas croire que l'usage d'une

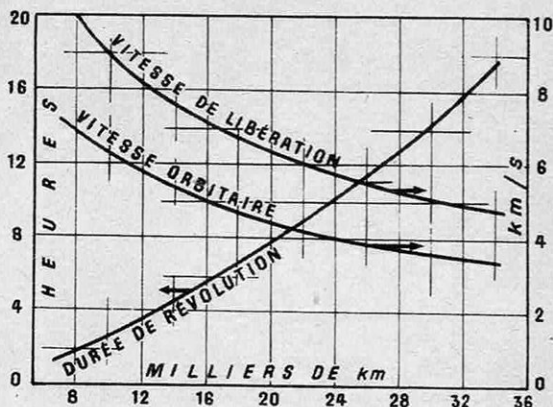
Durées de révolution, vitesses orbitaires des satellites en fonction de leur distance au centre de la Terre, et vitesses de libération pour ces distances. Ces deux vitesses restent entre elles dans un rapport constant.

telle base orbitale se traduit par une économie de carburant; son unique avantage est de permettre l'exécution pratique du voyage avec des engins de dimensions acceptables et avec les combustibles dont nous disposons.

Elle ne résout cependant pas tous les problèmes et la question devient assurément plus délicate lorsque l'on envisage des voyages plus lointains à partir du satellite. M. Shepherd soutient qu'ils exigent un autre mode de propulsion, par exemple la fusée ionique, avec éjection d'ions mis en vitesse par une source d'énergie (certains auteurs préconisent l'énergie nucléaire, d'autres envisagent de capter l'énergie du rayonnement solaire). Les voyages interplanétaires apparaîtraient ainsi liés à la combinaison de deux sortes de véhicules : des fusées chimiques à forte poussée pour l'établissement de stations spatiales au voisinage des planètes desservies, stations qui existent déjà avec Deimos et Phobos dans le cas de Mars; des fusées ioniques, à grande vitesse d'éjection et cependant faible poussée pour la liaison entre ces stations satellites.

LA MÉCANIQUE DU SATELLITE

L'aspect paradoxal des mouvements célestes de corps qui s'attirent l'un l'autre et tournent indéfiniment l'un autour de l'autre sans jamais « tomber » l'un sur l'autre avait assurément de

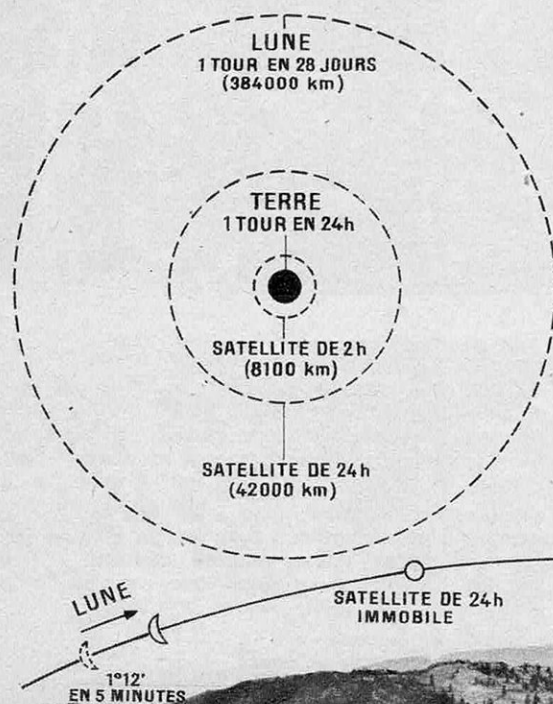


quoi troubler nos ancêtres. Le génie de Newton n'était pas de trop pour l'expliquer, et à en juger par la propriété fréquemment attribuée aux satellites artificiels d'« échapper à l'attraction terrestre », les leçons de Newton ne sont pas toujours bien comprises.

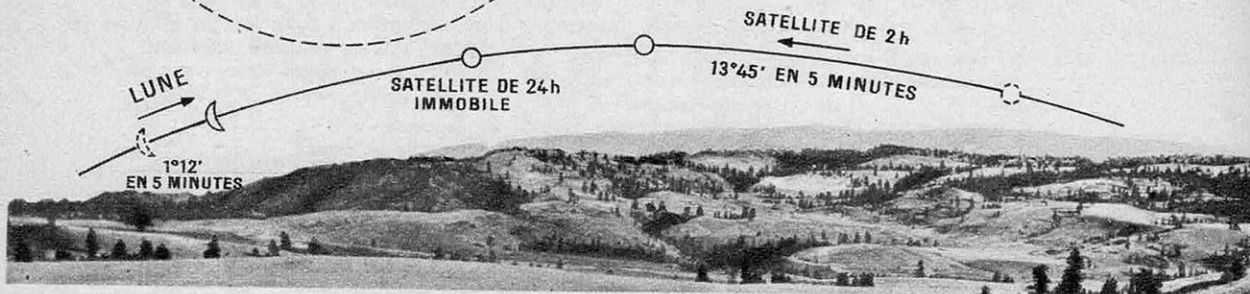
La Lune n'« échappe » pas plus à l'attraction de la Terre que la Terre à celle du Soleil. C'est cette attraction (proportionnelle au produit des masses et en raison inverse du carré de la distance) qui maintient la Terre et la Lune sur leurs orbites respectives. Si elle venait à disparaître, chacune continuerait sa route en ligne droite.

Dans les régions relativement proches où naviguera le satellite, la pesanteur conservera encore une valeur du même ordre qu'à la surface de la Terre. A 1 000 km d'altitude, par exemple, réduite dans le rapport du carré des distances au centre de la Terre, elle n'aura diminué que de 25 %. L'attraction terrestre tombe au 1/50 de sa valeur au niveau de la mer lorsqu'on s'éloigne à 36 000 km et au 1/3600 à la distance de 384 000 km, qui est la distance moyenne de la Lune à la Terre.

Si la Lune est attirée par la Terre, pourquoi ne tombe-t-elle pas sur elle ? C'est que dans son mouvement autour de la Terre, qui est presque circulaire (la Lune décrit en réalité, aux perturbations près, une ellipse de très faible excentricité), la distance au centre de la Terre et la vitesse ont des valeurs telles qu'à la force d'attraction s'oppose une force centrifuge qui



● La durée de révolution des satellites artificiels croît avec le rayon de l'orbite. A gauche, les orbites de trois satellites (on n'a pas tenu compte de l'échelle exacte). Ci-dessous, le déplacement apparent de ces différents satellites sur la sphère céleste en 5 minutes.

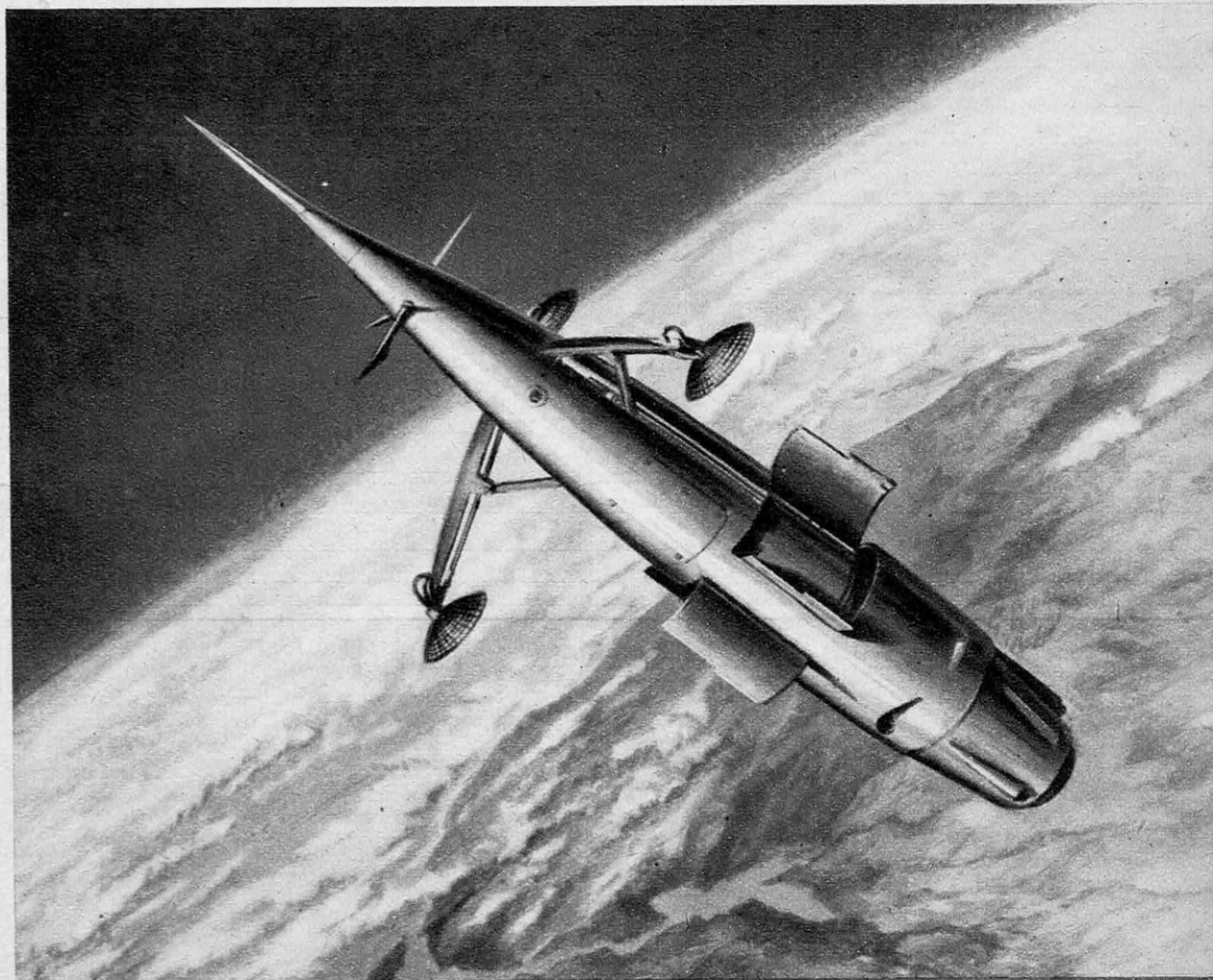


l'équilibre exactement. L'existence des satellites n'est ni une question de distance absolue à leur planète, ni une question de masse, mais bien affaire de relation entre leur vitesse et leur distance. Nous supposerons dans ce qui suivra, pour plus de simplicité, que les orbites sont circulaires, comme nous venons de l'admettre pour la Lune. Mais, en théorie comme en pratique, il peut exister un nombre infini d'orbites stables qui seraient des ellipses, dont le centre de la Terre occuperait l'un des foyers. Un corps parcourant une telle orbite fermée autour de la Terre, à condition qu'il reste toujours en dehors de l'atmosphère, poursuivrait son mouvement indéfiniment sans dépense d'énergie.

Revenons au cas simple de l'orbite circulaire. Puisque l'attraction terrestre décroît comme le carré de la distance, et que la force centrifuge, si la vitesse angulaire restait constante, croîtrait proportionnellement à cette distance, il faut nécessairement, pour l'équilibre des satellites, qu'ils tournent d'autant moins vite qu'ils sont plus loin. Dans leur rotation autour du Soleil, les planètes obéissent à cette même loi, qui n'est autre que la troisième loi de Képler qui

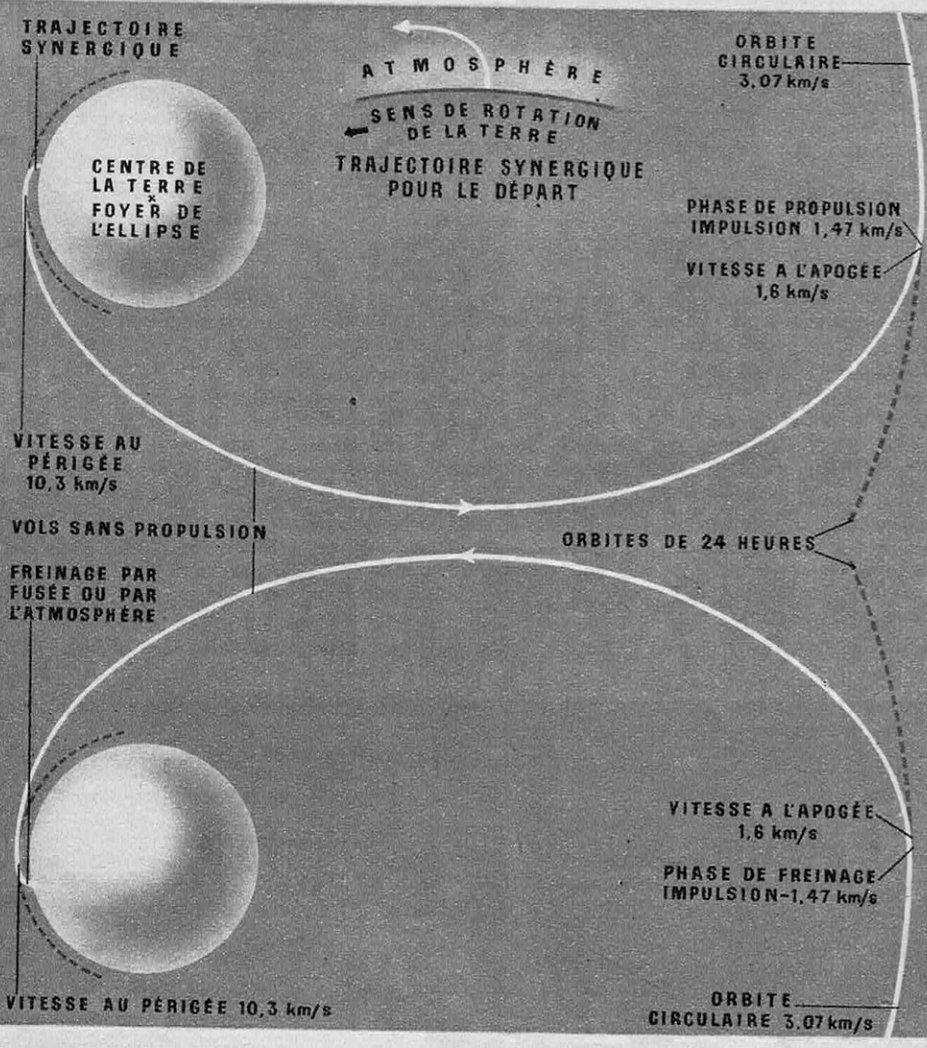
dit que « le carré des périodes de révolution est proportionnel au cube du grand axe ». Cette loi se vérifie aisément sur les satellites mineurs de notre voisine, la planète Mars. Le plus proche, Phobos, qui n'en est qu'à moins de 6 000 km, boucle son orbite en moins de 8 heures; le plus éloigné, Deimos, à 20 000 km, le fait en 30 heures.

L'affaire se complique, en apparence, pour un observateur placé à la surface de la planète. Le mouvement du satellite n'est vu que par composition avec le mouvement de rotation de la planète sur elle-même. Pour plus de simplicité, nous n'envisagerons que le cas où l'orbite du satellite, supposée circulaire, est dans le plan de l'équateur terrestre et où la révolution se fait dans le même sens que la rotation terrestre. A grande distance, par exemple, à la distance de la Lune à la Terre, la vitesse angulaire d'un satellite sur son orbite est faible vis-à-vis de la vitesse angulaire de rotation propre de notre planète; il nous paraîtra tourner d'est en ouest, dans le même sens que le Soleil et les étoiles. Pour un satellite de plus en plus proche, le mouvement paraîtra de plus en plus



PROJET DE FUSÉE-SATELLITE PORTANT UNIQUEMENT DES INSTRUMENTS D'OBSERVATION

Dessin de R. A. Smith.



● Ces croquis montrent le principe de la méthode des « orbites bitangentes », dite aussi des « ellipses de transfert », pour l'envoi d'une fusée sur une orbite circulaire autour de la Terre et pour son retour. On voit tout d'abord l'allure de la « trajectoire synergique » utilisée au décollage. La traversée de l'atmosphère s'effectue suivant la verticale, alors que la vitesse de l'engin est encore modérée, ce qui réduit les pertes par frottement et l'échauffement; puis la trajectoire s'incline progressivement jusqu'à l'horizontale. Cette première phase d'accélération porte la vitesse à une valeur telle que, sans propulsion, l'engin décrit une ellipse qui le conduit sur l'orbite voulue. Il suffit alors de lui donner un complément d'accélération pour que sa vitesse atteigne la valeur orbitale. Au retour, après une phase de freinage, l'engin s'engage sans propulsion sur l'ellipse de transfert qui le ramènera dans l'atmosphère terrestre.

lent, et il arrivera un moment où il paraîtra immobile à l'observateur; c'est celui où sa vitesse propre de révolution est égale à la vitesse de rotation de la Terre autour de son axe; à une distance de 42 200 km du centre de la Terre; le satellite est sur l'orbite dite « de 24 heures », qui ne présente d'ailleurs pour l'astronautique aucun intérêt particulier. Cet aspect du satellite apparemment immobile ne doit pas nous induire en erreur et nous laisser supposer que, dans cette position, il « échappe à l'attraction terrestre ». Il est soumis comme les autres à l'attraction terrestre, compensée par une force centrifuge due à une vitesse angulaire que masque, pour l'observateur, la rotation propre de la Terre.

Si le satellite est encore plus proche, il s'anime de vitesses orbitales angulaires de plus en plus grandes et semble donc tourner de plus en plus vite dans le ciel, mais cette fois en sens inverse du Soleil et des étoiles, d'ouest en est.

Le calcul de la vitesse des satellites sur leur orbite ne présente guère de difficultés, même dans le cas le plus général où l'orbite est une ellipse dont le centre de la planète autour de laquelle il tourne est l'un des foyers. Il est sim-

plifié si l'orbite se confond avec un cercle. La différence n'est d'ailleurs pas très grande pour la Lune dont la distance moyenne à la Terre est de 384 000 km et qui ne s'en approche pas à moins de 350 000 km. Il suffit d'écrire que la force centrifuge est exactement égale à l'attraction de la Terre à la distance où se trouve le satellite (1).

On sait qu'à l'équateur la pesanteur apparente, différence entre l'attraction terrestre et la force centrifuge, est plus petite qu'au pôle où celle-ci est nulle. A l'équateur, où la vitesse et le rayon terrestre sont respectivement d'environ 460 m/s et de 6 400 km, la force centrifuge est les 34/10 000 du poids. Les pendules les plus grossiers décelent cette différence. Si la Terre tournait 17 fois plus vite, la force centrifuge à l'équateur deviendrait égale à l'attraction terrestre et la pesanteur apparente serait nulle. C'est une vitesse de cet ordre, un peu moins de 8 km/s, qu'il faudrait imprimer à des satellites que l'on voudrait maintenir sur une trajectoire circulaire aux confins de notre atmo-

(1) La vitesse orbitale est égale à $v = R \sqrt{\frac{g}{r}}$, R étant le rayon de la Terre et r la distance de son centre au satellite.

sphère. Plus ils s'éloignent, et plus les satellites peuvent entretenir leur mouvement avec une vitesse faible. Sur l'orbite de 24 heures, à 42 200 km du centre de la Terre, cette vitesse tombe à 3 km/s. A 384 000 km distance de la Lune, il suffit de 1 km/s; la période de révolution est alors de 28 jours environ. La figure page 138 donne la relation entre cette vitesse sur l'orbite circulaire, et la distance à la surface de la Terre.

Dans ce qui précède, nous avons considéré que seuls la Terre et son satellite étaient en présence, et que l'orbite de ce dernier était circulaire et dans le plan équatorial. En réalité, nous avons affaire à un système complexe comprenant, outre la Terre et son satellite artificiel, le Soleil, la Lune et les planètes, et de plus la moindre erreur dans le calcul de la vitesse orbitaire, en grandeur et direction, donnera une orbite elliptique et non circulaire, qui se déroulera dans un plan voisin du plan équatorial, mais non confondu avec lui. De ce fait, il faut s'attendre à ce que l'orbite soit profondément perturbée et le calcul de ces perturbations est d'une complication si grande que nous ne ferons que les signaler. Les causes de perturbations seraient, dans l'ordre d'importance, le renflement équatorial de la Terre, le Soleil, la Lune et les planètes. On peut négliger l'action de ces dernières et aussi celles de la Lune, tout au moins tant que les périodes de révolution de la Lune et du satellite ne sont pas du même ordre de grandeur. Le renflement équatorial de la Terre n'aurait aucune action, évidemment, sur une trajectoire rigoureusement circulaire et dans le plan de symétrie équatorial. Avec une orbite elliptique il entraînerait une avance lente de la longitude de l'apogée et du périhélie, et si l'orbite était inclinée, une régression des nœuds de cette orbite (points où elle coupe le plan équatorial). La période de cette régression serait assez courte pour les orbites rapprochées. Quant au Soleil, il exercera des effets analogues sur les orbites en dehors du plan de l'écliptique, mais de période plus longue, d'autant plus longue que l'orbite sera rapprochée de la Terre. Les perturbations pourraient prendre une ampleur notable sur l'orbite de 24 heures évoquée plus haut, par suite de l'inclinaison notable du plan équatorial sur l'écliptique.

L'ÉTABLISSEMENT DU SATELLITE

Pour établir le satellite sur son orbite, on peut envisager tout d'abord d'opérer en deux temps : amener l'engin à la distance de la Terre que l'on aura choisie, puis le lancer à la vitesse convenable pour qu'il suive une orbite circulaire.

Pour éloigner un corps de la Terre, il faut

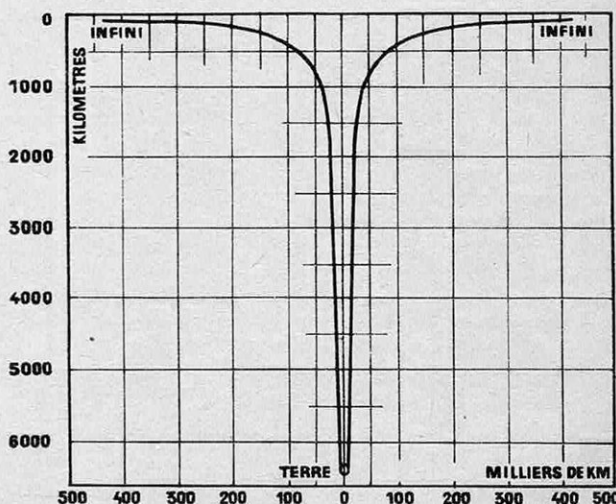
« Puits » gravifique de la Terre, gradué en kilomètres. ➡ Amener une masse d'une distance donnée du centre de la Terre à l'infini exige le même travail que l'élever de la hauteur indiquée sous la pesanteur constante g .

accomplir un certain travail qui s'évalue en faisant le produit de la force à vaincre par la distance parcourue. La force à vaincre est celle de la pesanteur, qui décroît constamment avec la distance au centre de la Terre, de sorte que le calcul ne peut s'effectuer par des procédés élémentaires et fait appel à ce que les mathématiciens appellent une « intégration ». Le résultat est particulièrement simple si l'on veut connaître le travail à effectuer pour transporter une charge de la surface de la Terre à l'infini : il est égal au produit du poids de la charge à la surface de la Terre par le rayon terrestre. Ainsi, pour une charge de 1 tonne, il faut effectuer un travail de 6 378 tonnes-kilomètres, ce qui équivaut, suivant une comparaison due à A. C. Clarke, à faire gravir à cette charge une montagne de 6 378 kilomètres de haut en supposant la pesanteur constante et égale à sa valeur au niveau de la mer.

Le travail nécessaire pour transporter une charge à une distance quelconque se calcule presque aussi aisément (1). On trouve, pour notre montagne imaginaire, une hauteur de 864 km pour amener un mobile à 1 000 km d'altitude, de 1 354 km pour l'amener à 1 720 km (orbite de 2 heures); de 5 415 km pour l'amener sur l'orbite de 24 heures (42 200 km au centre de la Terre) et de 6 272 km pour l'amener à la distance de la Lune.

Il est possible, suivant une idée due à R. S. Richardson et A. C. Clarke, de représenter le champ gravifique de la Terre d'une manière parlante par un graphique tel que celui ci-dessous. Il figure un puits, profond de 6 378 km, aux parois escarpées dans le fond et qui vont en s'évasant largement. C'est ce puits qu'il faut gravir, et on peut le faire de deux manières : ou lentement, et il est évident qu'une grande partie de l'effort est dépensée en pure perte, servant non à monter, mais à s'empêcher de glisser vers le bas sur les parois escarpées

(1) Il est donné pour une masse unité par la formule $gR^2 \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right)$, R étant le rayon de la Terre et r la distance à son centre. Si r devient infini, on a gR .

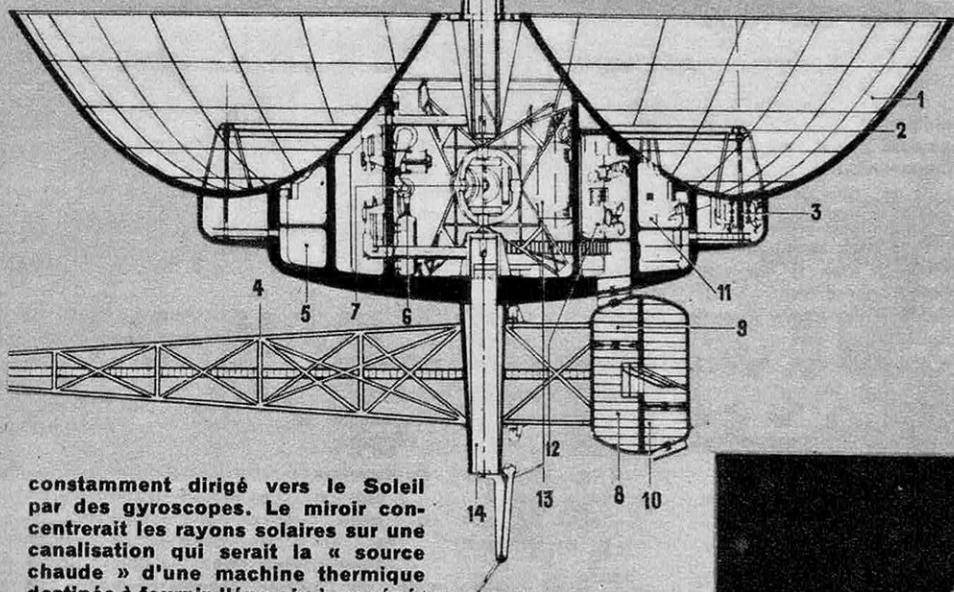


LE PROJET DE SATELLITE ARTIFICIEL IMAGINÉ PAR LES ANGLAIS ROSS ET SMITH

La construction d'un satellite artificiel de la Terre, station météorologique, observatoire astronomique et relais astronomique, pose des problèmes auxquels les auteurs sérieux ont apporté des solutions assez voisines. Ross et Smith rétablissent une pesanteur artificielle en imprimant au satellite une rotation calculée. Ils placent l'enceinte habitée derrière un vaste miroir ou « bol » en forme de tore parabolique dont l'axe serait

rateur électrique. Un bras portant les antennes de radio entraînerait un sas pouvant s'immobiliser tantôt par rapport à l'espace environnant et tantôt par rapport au satellite, permettant d'y entrer ou d'en sortir. A droite, la construction du satellite à l'aide de matériaux apportés par fusée. Les ouvriers travaillant en l'absence de toute pesanteur apparente sont capables de déplacer sans grand effort des éléments de grandes dimensions.

1. Miroir concentrant le rayonnement solaire.
2. Canalisations de la chaudière solaire.
3. Turbine entraînant un générateur électrique.
4. Poutre métallique portant les antennes.
5. Couloir circulaire de communication.
6. Centrale de conditionnement de l'air.
7. Gyroscopes de contrôle de l'orientation.
8. Chambre à pesanteur apparente nulle.
9. Sas pour pénétrer dans le satellite.
10. Sas pour passer dans l'espace extérieur.
11. Etage extérieur, pesanteur apparente g.
12. Etage intérieur, pesanteur app. 0,43 g.
13. Compartiment de stockage des réserves.
14. Strobotélescopes, observation et photo.

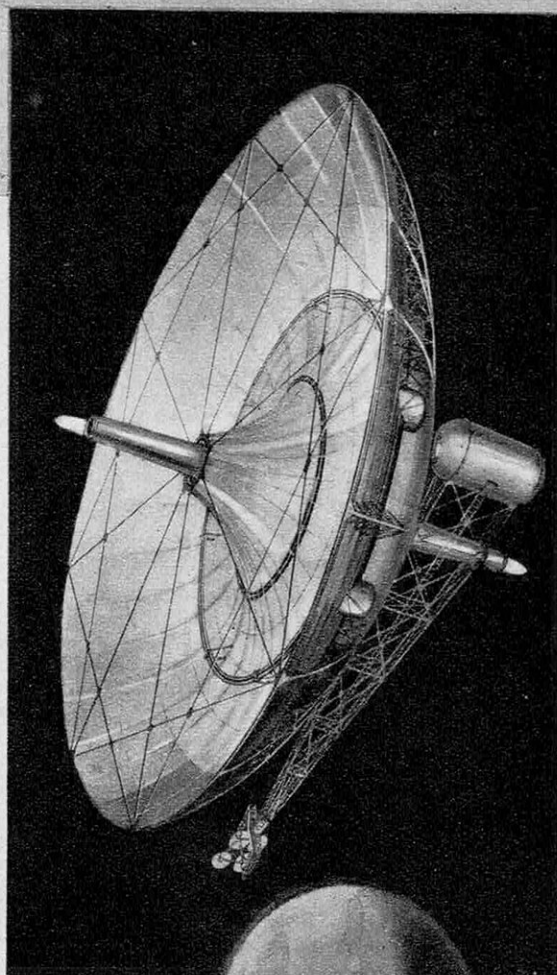


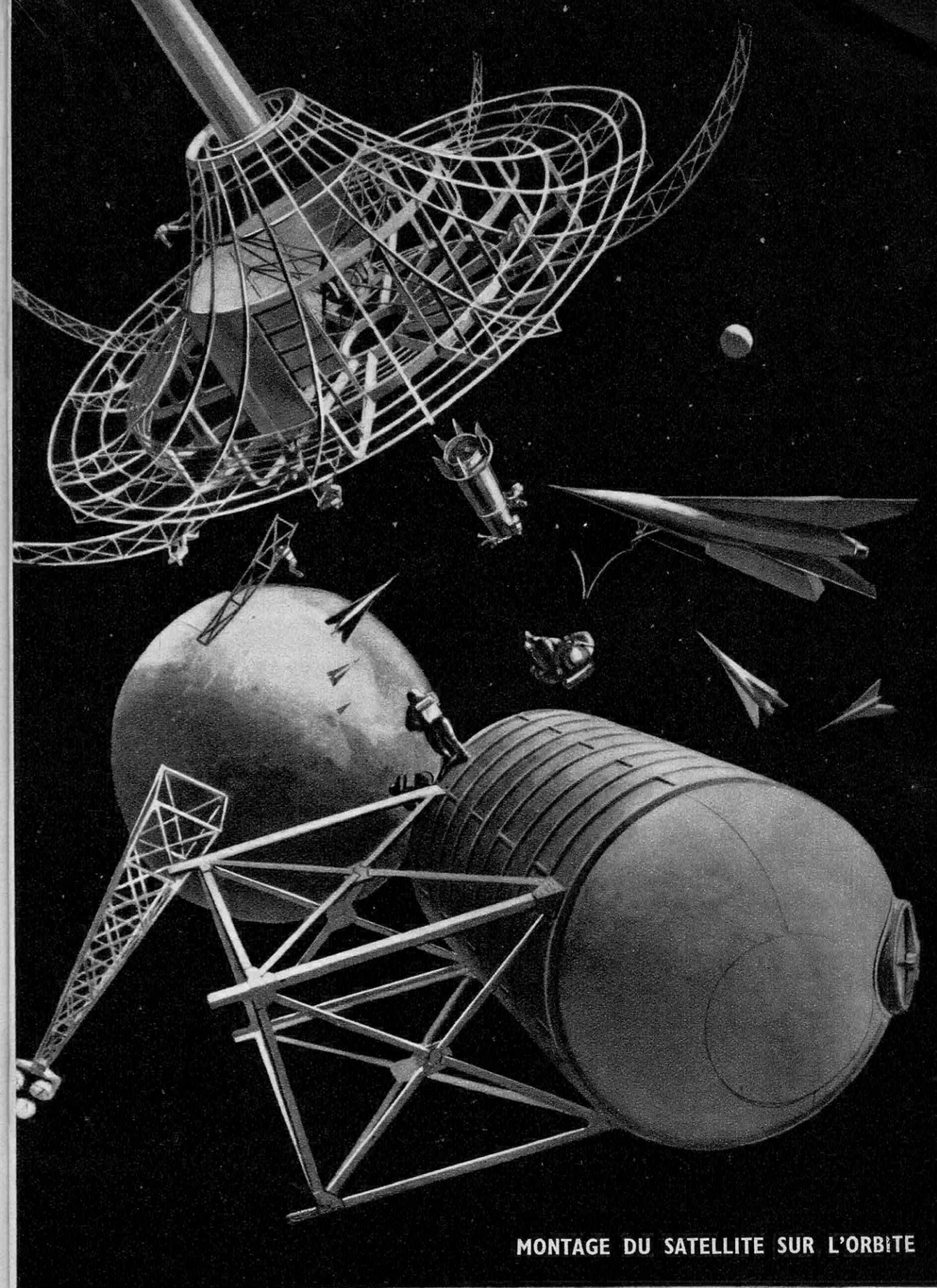
constamment dirigé vers le Soleil par des gyroscopes. Le miroir concentrerait les rayons solaires sur une canalisation qui serait la « source chaude » d'une machine thermique destinée à fournir l'énergie à un géné-

(ce qui correspond à la « perte par gravité » des théoriciens de l'astronautique), ou prendre un grand élan pour parvenir au niveau désiré. Ceci veut dire qu'il faut communiquer au mobile une vitesse initiale telle que son énergie cinétique soit égale au travail à accomplir contre la pesanteur. Cette vitesse se calcule non moins facilement (1). Elle est de 4,112 km/s pour 1 000 km d'altitude, de 5,15 km/s pour l'orbite de 2 heures, de 10,3 km/s pour l'orbite de 24 heures, de 10,9 km/s pour l'orbite de la Lune, et de 11,18 km/s pour l'infini. Cette dernière vitesse est dite « vitesse de libération pour la Terre »; elle n'est autre que la vitesse avec laquelle un corps abandonné à l'infini avec une vitesse nulle et tombant en chute libre, arriverait à sa surface.

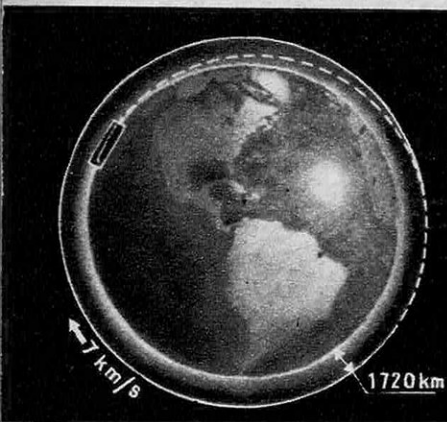
Ces chiffres sont évidemment théoriques et ne tiennent compte, entre autres, ni de la présence d'autres astres, ni de la rotation terrestre, ni surtout du fait que la Terre possède une atmosphère dense dans ses parties basses. Il serait impossible, en fait, de faire voler une fusée à une vitesse de plusieurs kilomètres par

(1) Elle est donnée par la formule $v = R \left[2g \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$
qui donne pour r infini $v = \sqrt{2 gR}$.

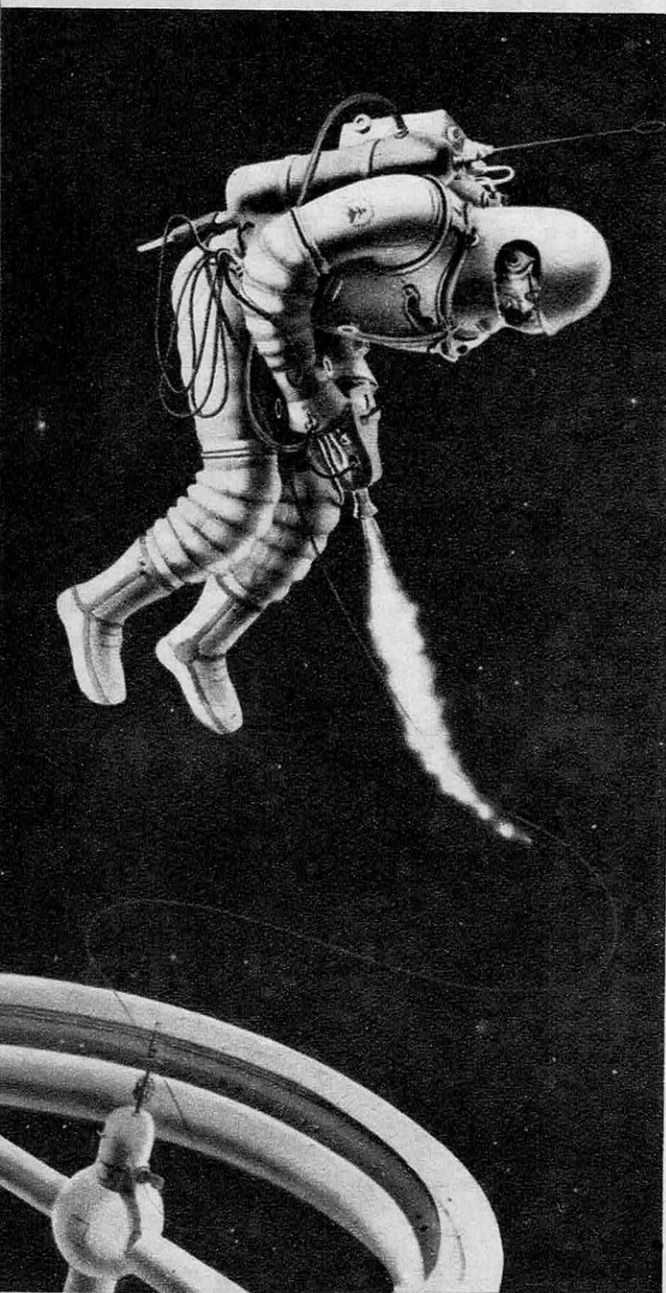
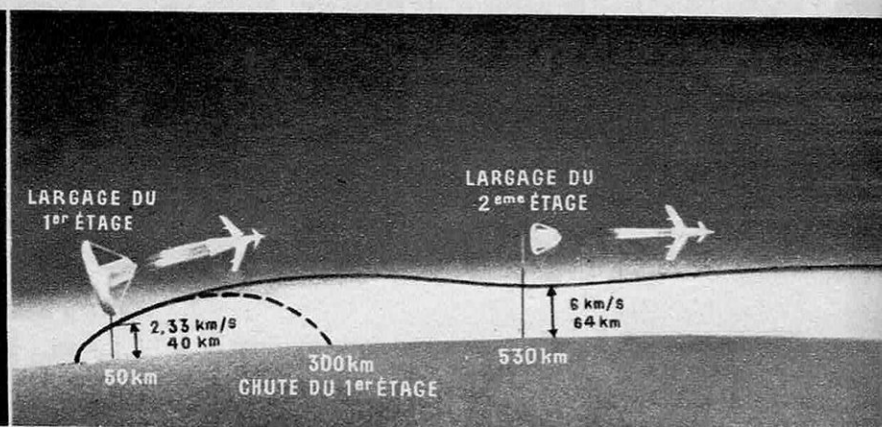




MONTAGE DU SATELLITE SUR L'ORBITE



D'après Colliers.



D'après Colliers.

seconde à travers l'atmosphère. Elle doit traverser les couches inférieures à vitesse modérée et atteindre sa pleine vitesse seulement après s'être dégagée de l'atmosphère. Il en résulte, comme nous l'avons signalé plus haut, une « perte par gravité » qui oblige à majorer le chiffre prévu. Quoi qu'il en soit, nous ne retiendrons ici que les valeurs théoriques.

Notre engin ayant atteint l'altitude désirée, il suffit de lui imprimer la vitesse correspondante suivant une direction perpendiculaire à la droite qui le joint au centre. On évalue sans difficulté la dépense d'énergie totale, en faisant la somme des énergies cinétiques au départ de la Terre et sur l'orbite. On trouve que le satellite demande d'autant moins d'énergie au total pour son établissement qu'il est plus proche de la Terre. L'énergie de libération à l'infini, en particulier, est sensiblement le double de l'énergie cinétique sur une orbite à très faible altitude. C'est la justification du satellite proche.

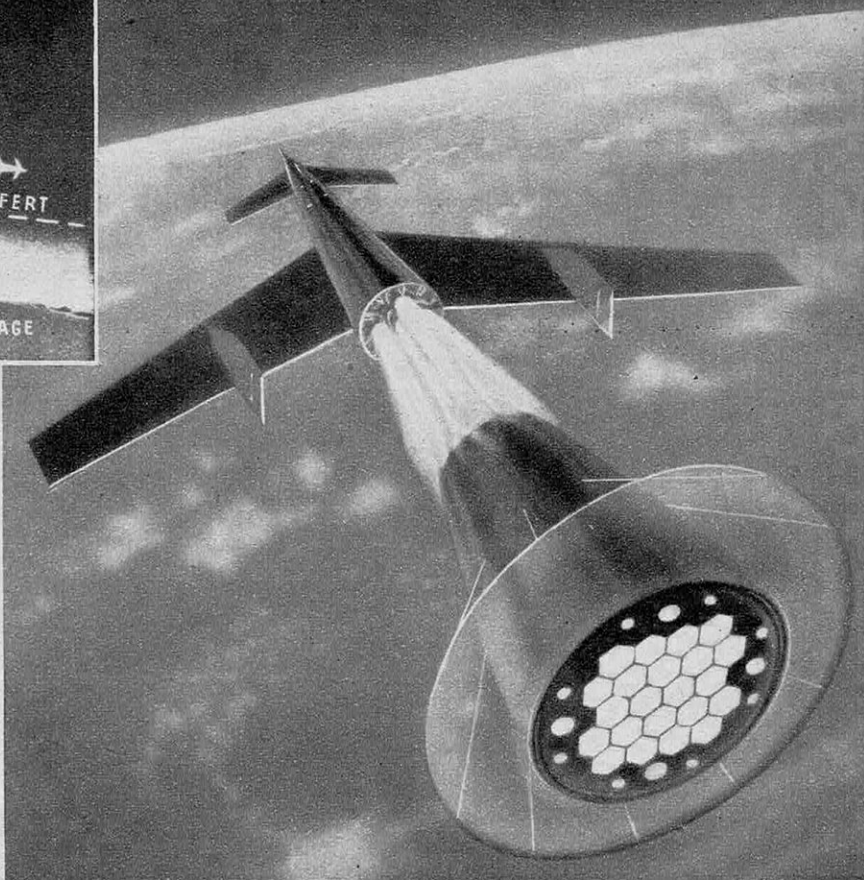
Mais la propulsion des astronefs s'effectue exclusivement par fusées, et on a vu dans un chapitre précédent le rôle capital du rapport de masse, lié d'une part à la vitesse d'éjection des gaz et d'autre part à la vitesse finale atteinte lorsque tout le combustible est consommé. Aussi n'est-il pas surprenant que les astronautes accordent plus d'attention aux questions de vitesse qu'à celles d'énergie. Supposons que nous voulions établir une fusée sur une orbite à 250 km d'altitude. Il faudra lui donner une vitesse au départ de 2,4 km/s, en faisant fonctionner pendant un court instant ses propulseurs. Lorsqu'elle sera parvenue au terme de sa course, à 250 km d'altitude, on remettra en marche les propulseurs pour lui communiquer une nouvelle vitesse de 7,75 km/s, égale à la vitesse orbitaire. Ainsi les propulseurs auront fourni au total 10,15 km/s. C'est ce qu'on appelle la **vitesse caractéristique** pour le parcours Terre-orbite à 250 km. Cette notion se généralise aisément, ainsi qu'on le verra par la suite et on peut définir la vitesse caractéristique comme la somme des changements de vitesse

◀ Vêtu d'un scaphandre pressurisé, un membre de l'équipage d'une station cosmique peut « flotter » dans l'espace. Pour se diriger, il doit utiliser un petit moteur-fusée fonctionnant à l'air comprimé ou à l'eau oxygénée.



DÉPART POUR L'ORBITE

La fusée à trois étages qu'a calculée von Braun décollerait verticalement, puis courberait sa trajectoire, larguant le premier étage à 40 km d'altitude et le second (comme dessiné à droite) vers 64 km. Ces deux étages, tombés en mer soutenus par des parachutes, seraient récupérés. Le troisième, après avoir atteint 8 km/s, s'engagerait sur une ellipse de transfert qui l'amènerait sur l'orbite de 2 heures où une courte phase de propulsion lui donnerait la vitesse nécessaire. Il aurait fait en 56 mn la moitié du tour de la Terre. Le troisième étage est seul pourvu d'ailes pour le freinage aérodynamique à son retour dans l'atmosphère et l'atterrissage en vol plané.



D'après Colliers.

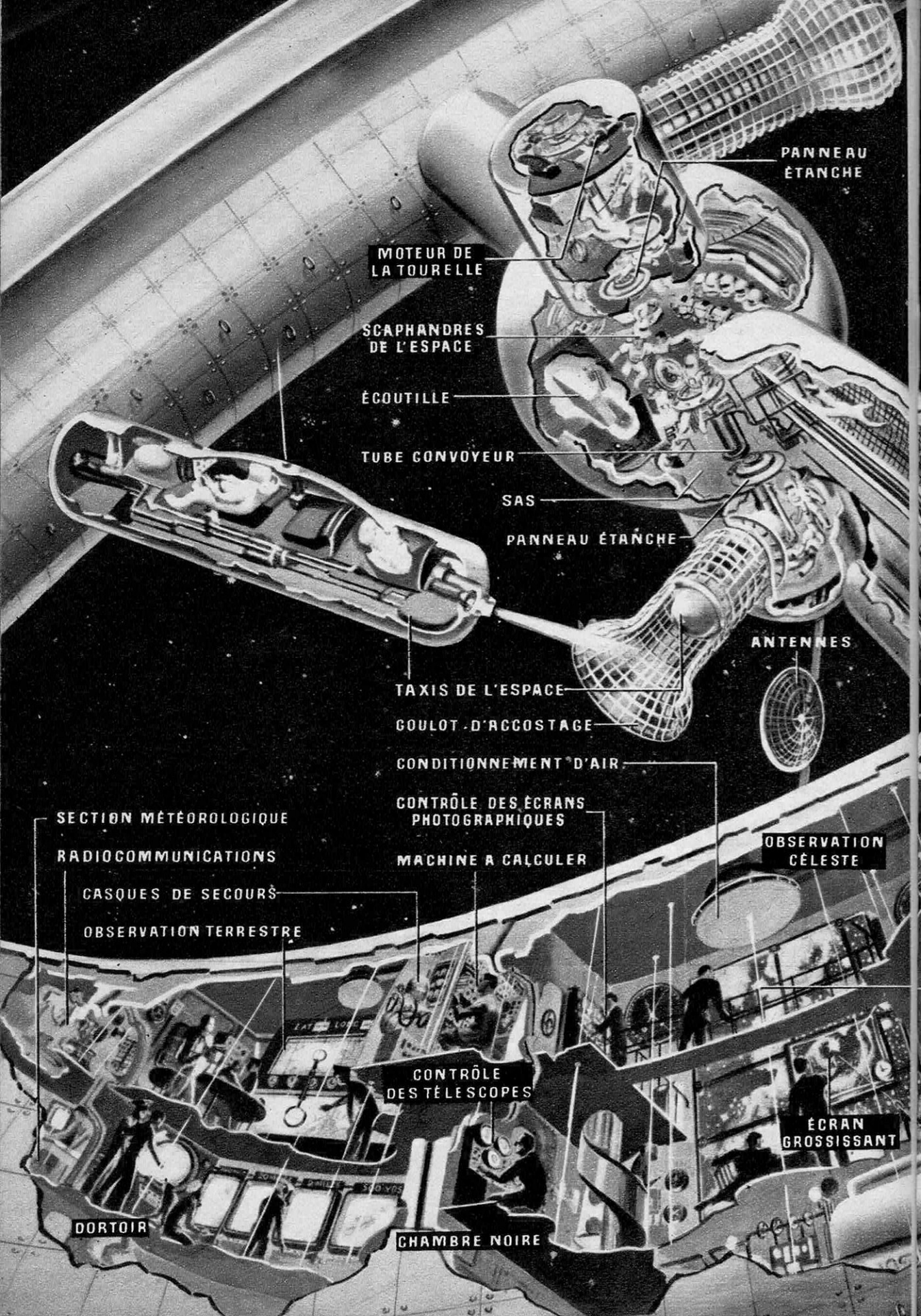
que l'on doit opérer au cours d'un trajet. Si, par exemple, la fusée, après être restée quelque temps sur l'orbite, et elle pourrait y rester indéfiniment sans dépense d'énergie, doit revenir sur la Terre, la vitesse caractéristique double. Il faut en effet annuler d'abord la vitesse orbitaire pour se mettre en chute libre, puis freiner près de la surface terrestre pour annuler la vitesse de chute qui serait précisément égale à 2,4 km/s, si l'on néglige la présence de l'atmosphère. Au total les propulseurs fourniraient à nouveau 10,15 km/s, d'où 20,30 km/s, pour le voyage aller et retour. La vitesse caractéristique pour le voyage aller se trouve égale à la vitesse de libération lorsque le satellite est à une altitude de 800 km environ. Elle lui est inférieure pour des altitudes moindres et elle lui est supérieure au-delà. E. Burgess a calculé qu'une fusée à trois étages, fonctionnant tous avec un rapport de masse égal à 4, pourrait atteindre une vitesse caractéristique de 10 km/s avec un choix de combustibles fournissant une vitesse d'éjection de 2 400 m/s; sa réalisation apparaît du domaine des possibilités actuelles. Il faudrait, compte tenu du poids de la structure et des accessoires, un engin de 90 tonnes au décollage pour délivrer 90 kg de charge utile sur l'orbite. Le facteur de charge utile ne dépasse donc pas encore 1 pour mille.

Les théoriciens de l'aéronautique ont cherché les moyens de réduire les exigences en vitesse

caractéristique des voyages sur les orbites circulaires. Il semble qu'actuellement la faveur se soit portée sur une méthode que l'on pourrait appeler « méthode des orbites bitangentes » ou encore des « ellipses de transfert ». L'idée générale est de faire décrire au véhicule une ellipse dont le périhélie (point le plus voisin du centre de la Terre, qui constitue un des foyers) serait situé au voisinage de la surface et dont l'apogée (point le plus éloigné) se placerait sur l'orbite visée. Cette ellipse serait ainsi tangente à un cercle à faible altitude et à l'orbite.

Le processus, très schématisé, serait ainsi le suivant : la fusée décolle verticalement, de manière à traverser le plus rapidement possible l'atmosphère, et incline progressivement sa trajectoire pour accélérer dans une direction presque horizontale; la perte par gravité serait ainsi réduite au minimum (les éléments d'une telle trajectoire « synergique » ont été définis par Oberth). Lorsque la vitesse correspondant au périhélie de l'ellipse de transfert est atteinte, le propulseur cesse son action et l'engin parcourt en vol libre, c'est-à-dire soumis uniquement à l'attraction terrestre, une demi-ellipse. Il parvient à l'apogée avec une vitesse réduite et il suffit à ce moment de remettre les propulseurs en marche pour lui communiquer le complément de vitesse nécessaire pour l'établir définitivement sur l'orbite.

Essayons de chiffrer l'avantage dans le cas,



PANNEAU ÉTANCHE

MOTEUR DE LA TOURELLE

SCAPHANDRES DE L'ESPACE

ÉCOUTILLE

TUBE CONVOYEUR

SAS

PANNEAU ÉTANCHE

ANTENNES

TAXIS DE L'ESPACE

GOULOT D'ACCOSTAGE

CONDITIONNEMENT D'AIR

CONTRÔLE DES ÉCRANS PHOTOGRAPHIQUES

MACHINE À CALCULER

OBSERVATION CÉLESTE

SECTION MÉTÉOROLOGIQUE

RADIOCOMMUNICATIONS

CASQUES DE SECOURS

OBSERVATION TERRESTRE

CONTRÔLE DES TÉLÉSCOPES

ÉCRAN GROSSISSANT

DORTOIR

CHAMBRE NOIRE

A bord du satellite-roue



CONDUITES DE REFROIDISSEMENT

MIROIR

CONDUITES DE
CONDITIONNEMENT D'AIR

CHAUDIÈRE A
VAPEUR DE MERCURE

CENTRALE DE
CONDITIONNEMENT D'AIR

GÉNÉRATRICE

FILET

LABORATOIRE
D'ANALYSE DE L'AIR

PORTES
ÉTANCHES

CAGE D'ASCENSEUR

CONTRÔLE
DE L'ÉQUILIBRAGE

ÉCRAN
PHOTOGRAPHIQUE

ANNEAUX
D'AMARRAGE

VOILETS RÉGLANT
LA TEMPÉRATURE

BLINDAGE
CONTRE MÉTÉORITES

PAROI INTÉRIEURE

RÉSERVOIRS A COMBUSTIBLE

RÉCUPÉRATEUR D'EAU

plutôt défavorable, où l'orbite visée est celle de 24 heures. Pour amener l'engin directement sur l'orbite, il faut une vitesse de lancement de 10,3 km/s; comme la vitesse orbitaire est de 3,07 km/s, la vitesse caractéristique est de 13,37 km/s. Dans l'autre cas, la vitesse au périégée de l'ellipse de transfert est de 10,3 km/s; parvenu à l'apogée, l'engin est encore animé de 1,6 km/s, de sorte qu'il suffit d'un complément de 1,47 km/s; la vitesse caractéristique n'est plus que de 11,77 km/s.

Pour le voyage de retour, on pourra utilement opérer en sens inverse, c'est-à-dire qu'on exercera pendant un temps court une poussée en sens inverse de la vitesse orbitaire, ce qui aura pour effet de mettre l'engin sur une trajectoire elliptique de transfert qu'il parcourra librement et qui le rapprochera de la Terre.

On pourra alors, parvenu au périégée de l'ellipse, soit freiner de nouveau par fusées, soit, si la trajectoire a été calculée de manière à ce qu'on ait atteint l'atmosphère, compter sur le freinage aérodynamique, ce qui économise considérablement sur la vitesse caractéristique totale, puisqu'on n'a plus à remettre les propulseurs en action. On atterrirait en planeur.

A. T. Neuweiler a poussé assez loin l'étude du freinage par l'atmosphère dans un des mémoires présenté au 2^e Congrès d'Astronautique et a recherché ce qu'on pourrait attendre d'un dernier étage de fusée fonctionnant en planeur supersonique. Il suppose une voilure en acier inoxydable pouvant résister à 1 300° C, organisée pour transmettre la chaleur des points les plus chauds — l'intrados de l'aile au voisinage du bord d'attaque — au reste de la surface qui l'évacuerait par radiation ou convection. L'auteur du mémoire conclut à la nécessité d'une charge alaire relativement faible, ne dépassant guère 30 kg/cm², donc à une voilure assez lourde, représentant 75 % du poids du planeur chargé. La durée du voyage de retour, beaucoup plus longue que celle de l'aller, ne dépasserait guère 3 heures, au cours desquelles le planeur ferait deux fois le tour de la Terre.

Peut-être trouvera-t-on que ce sont là de grosses complications pour le voyage de retour et que le rendement de ce planeur, qu'il faudrait éventuellement construire sur le satellite avec des matériaux expédiés de la Terre, n'est pas élevé.

Mais le retour avec freinage par fusée à plusieurs étages consommant sensiblement le même pourcentage de la masse totale en réservoirs et en combustible qu'à l'aller serait d'un rendement encore moindre.

LE SATELLITE DE ROSS ET SMITH

Nous ne pouvons songer à décrire tous les projets de satellites artificiels. Ils sont pour la plupart trop fantaisistes et font plus honneur à l'imagination de leurs auteurs qu'à leurs connaissances techniques ou scientifiques. Parmi les projets — il serait plus correct de dire les

avant-projets — les mieux étudiés, nous en décrivons rapidement deux, bien qu'ils soient encore très loin du stade des réalisations.

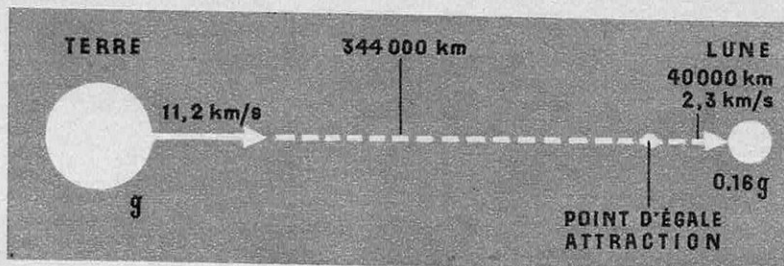
Le satellite envisagé par H. E. Ross et R. A. Smith est représenté page 142. Il se compose essentiellement de trois parties : un « bol », une vaste carlingue derrière le « bol » et un bras en poutrelles métalliques. Le « bol » est un miroir de 60 m de diamètre, en forme de tore parabolique (surface engendrée par une parabole tournant autour d'une droite parallèle à son axe). Son rôle est de concentrer les rayons du soleil sur un système de canalisations disposé suivant une circonférence, aux foyers des diverses paraboles. Il fournit ainsi l'énergie nécessaire au fonctionnement des appareils qui équipent le satellite. Il ne peut être en effet question d'utiliser sur une station cosmique les combustibles classiques qu'il serait trop coûteux d'y transporter. Aussi la plupart des projets envisagent-ils de capter l'énergie solaire et de la transformer en énergie électrique, soit à l'aide de piles thermoélectriques, soit par l'intermédiaire d'une machine thermique. C'est cette dernière solution qui est retenue ici. Les canalisations sont parcourues par un fluide (ce pourrait être de l'eau ou du mercure) qui se vaporise et qui actionne 8 turbogénérateurs disposés dans des compartiments de la carlingue. On estime que le miroir capterait 4 000 kW, dont 1 000 kW resteraient finalement utilisables, compte tenu des pertes inévitables. Le condenseur est naturellement à l'ombre du miroir.

Dans la carlingue sont prévus les logements pour le personnel (24 personnes), les laboratoires et les ateliers. Pour réaliser une pesanteur artificielle, l'ensemble du miroir et de la carlingue tourne autour de son axe à raison de 1 tour en 7 secondes. La carlingue comportant deux galeries concentriques, on aurait, sur la plus éloignée de l'axe, une accélération centrifuge de 1 g, et sur la plus proche de 0,43 g, parfaitement admissible.

D'une manière générale, à bord d'un satellite, comme d'ailleurs à bord de tout astronef en vol libre, les mouvements que peuvent accomplir les astronautes et tous les déplacements de matériaux qu'ils peuvent effectuer sont sans aucune influence sur le mouvement général. Le centre de gravité de l'ensemble suit imperturbablement sa trajectoire, ici son orbite circulaire. Mais ils entraînent des changements dans l'orientation, et il faut pouvoir les corriger. On pourrait à cet effet prévoir des réservoirs contenant un liquide qu'un système de pompes transvaserait suivant les besoins. Il semble plus pratique de faire appel à un système automatique de stabilisation utilisant des gyroscopes.

En principe, on munit l'engin de trois petits moteurs électriques entraînant des volants de moment d'inertie suffisant et ayant leurs axes à angles droits. Aussitôt que l'un d'eux est mis en route, l'astronef entier tourne en sens inverse, les deux vitesses angulaires étant inversement proportionnelles aux moments d'inertie respectifs, et chacun des mouvements

● Un voyage à la Lune, très schématique, comporterait une phase d'accélération pour quitter la Terre à 11,2 km/s (vitesse de libération), puis une phase de freinage pour annuler la vitesse de chute sur la Lune, 2,3 km/s. D'où au total une vitesse « caractéristique », toute théorique, de 13,5 km/s.



prenant fin simultanément des l'arrêt du moteur correspondant.

C'est cette solution qui a été adoptée dans le présent projet et on a prévu un système à six gyroscopes. Il est d'ailleurs indispensable du fait que l'axe de la station doit toujours demeurer pointé sur le Soleil ce qui oblige à lui faire faire un tour en un an par suite de la révolution de la Terre autour du Soleil. L'automatisme est assurée par un dispositif photo-électrique.

Le bras métallique ne tourne normalement pas. Il porte à une extrémité les « aériens » pour les communications radioélectriques avec la Terre ou les autres astronefs, et à l'autre une chambre munie de deux sas permettant l'entrée et la sortie. Aucune pesanteur ne s'y fait sentir; c'est, suivant la terminologie anglo-saxonne, une chambre à « zéro-g ». Elle est utilisée pour introduire du personnel ou du matériel dans la carlingue. Voici le schéma d'opération : on fait tourner le bras en synchronisme avec le corps du satellite, de manière que la chambre se place en face d'une des portes de la carlingue. Un membre de l'équipage, revêtu de son scaphandre passe alors par le sas et s'installe dans la chambre. Le bras est remis en rotation par rapport à la station, de manière qu'il soit immobile dans l'espace. La deuxième porte de la chambre est ouverte et la communication est établie par câble avec un astronef ravitailleur. Le matériel transféré, les opérations sont reprises en sens inverse.

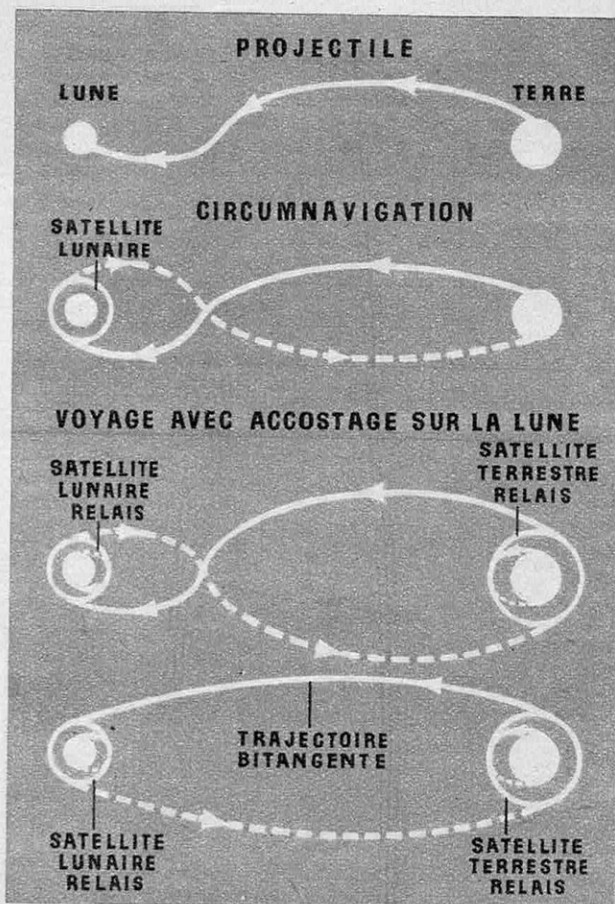
LE SATELLITE DE VON BRAUN

Wernher von Braun, qui fut responsable de la V-2, possède une compétence indiscutable en matière de fusées, et c'est à ce titre qu'il a été placé à la tête d'un Département important au Secrétariat à la Défense des Etats-Unis. Le satellite artificiel qu'il a conçu a été décrit par la revue américaine « Colliers » d'où sont extraites les figures des pages 134 et 146. Dans l'esprit de son auteur, ce projet doit constituer surtout une base pour les futures explorations interplanétaires, dont nous parlerons plus loin. Son prix a été estimé à 4 milliards de dollars (deux

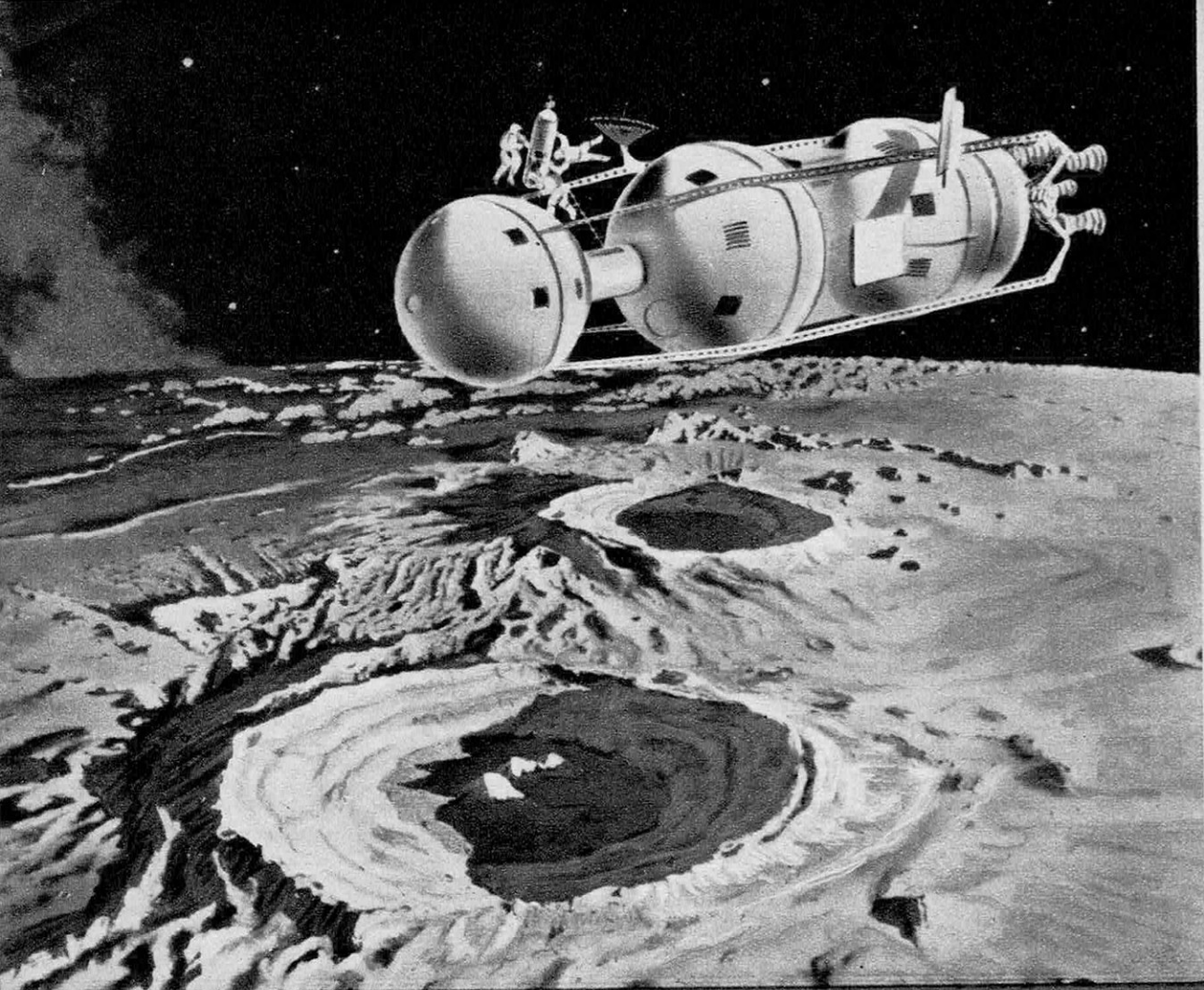
fois ce qu'a coûté la bombe atomique) et von Braun estime qu'il faudrait une dizaine d'années pour le réaliser.

Le lecteur a déjà trouvé page 86 un dessin de la fusée à trois étages qui servirait à l'établissement du satellite et à sa liaison avec la Terre. Rappelons seulement ici qu'elle pèse 7 000 tonnes et mesure 80 m de haut et 20 m de diamètre à la base, pour emporter 36 tonnes de charge utile sur l'orbite de 2 heures, soit à 1 720 km d'altitude. Son fonctionnement est prévu de telle manière que les deux premiers étages seraient récupérables et que le troisième, pourvu d'ailes, pourrait revenir sur la Terre avec freinage par l'atmosphère. Ainsi, ayant rassemblé à nouveau les trois étages de la fusée au site de lancement, on pourrait la remonter et, après révision de ses organes et ravitaillement, l'utiliser à nouveau.

Le site de lancement, soigneusement choisi



Ces croquis, inspirés de Burgess, montrent différentes combinaisons possibles pour rendre praticable, avec les engins-fusées que l'on saurait construire, le voyage à la Lune avec éventuellement descente à sa surface. Il apparaît avantageux, d'un point de vue pratique, d'établir au préalable des satellites artificiels tant autour de la Lune que de la Terre. Ils serviraient de bases de ravitaillement pour les astronefs effectuant l'aller et le retour.



COMMENT VON BRAUN VOIT L'ASTRONEF QUI EFFECTUERA LE VOYAGE CIRCULUNAIRE

au voisinage d'un large océan, devrait être à proximité d'un centre industriel important puisqu'il faut prévoir des départs fréquents. Von Braun admet que les manœuvres à accomplir pour établir la fusée sur l'orbite seraient si délicates qu'il faudrait les confier à des appareils entièrement automatiques, qui restent à concevoir et à mettre au point. Après une montée verticale suivie, comme nous l'avons déjà dit, d'une inclinaison progressive de la trajectoire, l'engin atteindrait à 40 km d'altitude, une vitesse de 2,33 km/s. Le premier étage serait alors détaché et le deuxième étage entrerait en action. (Le premier étage monterait sur sa lancée à 60 km d'altitude et retomberait, freiné par parachute, à 300 km de distance du point de départ, dans la mer où il serait repêché.) Ce deuxième étage porterait la vitesse vers 6 km/s à 64 km d'altitude; il serait alors détaché (il retomberait, soutenu par parachute, à 1 450 km du point de départ, et serait repêché aussi en mer) et 84 s plus tard, sous l'action du troisième étage de propulsion, il serait parvenu à 101 km d'altitude, avec une vitesse de plus de 8 km/s, ce qui l'engagerait sur une ellipse de transfert ayant son apogée à 1 720 km, sur l'orbite de 2 heures. L'engin y parviendrait à la vitesse de 6,5 km/s et il suffi-

rait de remettre les propulseurs en marche pendant 15 secondes pour la porter vers 7 km/s, ce qui l'établirait sur l'orbite. Le voyage aurait duré 56 minutes au total, les propulseurs n'ayant été en action que 5 minutes.

Le troisième étage est prévu pour emporter suffisamment de combustible pour les manœuvres de retour, qui se limitent en principe à un freinage pour passer de l'orbite circulaire à l'orbite de transfert qui l'amène dans l'atmosphère. Celle-ci le freinerait puissamment, au point que les parties superficielles seraient portées au rouge sombre (700° C); mais naturellement l'équipage serait isolé et réfrigéré. La vitesse du son serait franchie vers 24 000 m et l'atterrissage s'effectuerait normalement à 110 km/h.

Le satellite lui-même a la forme générale d'une roue, de 75 m de large. Il est constitué par 20 sections indépendantes, en toile de nylon et plastique, transportées aplaties pour diminuer leur encombrement et gonflées sur l'orbite où, de ce fait, les parois prennent leur rigidité. Cette roue tourne, pour créer une pesanteur artificielle, à raison d'un tour en 22 secondes, ce qui donne l'équivalent du tiers de la pesanteur terrestre. Les occupants ont les pieds sur la surface périphérique et la tête dirigée vers



LES FUSÉES SPÉCIALES IMAGINÉES PAR VON BRAUN POUR L'ACCOSTAGE SUR LA LUNE

l'axe. Le chauffage est assuré par le Soleil, et on règle la température en modifiant les conditions d'équilibre naturel entre le rayonnement absorbé et le rayonnement dissipé dans l'espace. A cet effet, un certain nombre de panneaux sont peints en noir, pour mieux absorber le rayonnement et on en fait varier la surface au moyen de volets mobiles commandés automatiquement par un thermostat.

Pour l'édification du satellite, effectuée à l'aide d'éléments préfabriqués, il suffira, une fois les fusées qui les ont transportées établies sur l'orbite, de les débarquer dans l'espace sans précaution spéciale, car tous les éléments constituent autant de satellites, au même titre d'ailleurs que le personnel de montage qui, revêtu de scaphandres étanches, flottera dans l'espace où il ne pourra se déplacer que par réaction, en utilisant de petits moteurs-fusée, par exemple à air comprimé ou à eau oxygénée à forte concentration. Par précaution, ils demeureront reliés à l'astronef par de longues amarres, et ils feront bien d'« assurer » de la même manière leurs outils; on dit souvent qu'en l'absence de pesantier on peut lâcher un marteau ou une clef anglaise sans qu'elle « tombe »; en fait, si l'outil possède la moindre vitesse relative par rapport à l'ouvrier, il partira len-

tement à la dérive dans l'espace pour ne plus jamais revenir. Il n'y a plus de « poids », mais les corps conservent leur inertie. Toutes les communications devront se faire par radio, à l'aide de « walkie-talkies », car le vide ne transmet pas les ondes sonores qui exigent un support matériel.

Dans le satellite sont prévues de nombreuses installations : poste central de télécommunications, bureau d'observations météorologiques, laboratoires photographiques, centrale de conditionnement, de déshumidification et de purification de l'atmosphère, centrale thermique de 500 kW à vapeur de mercure, exploitant l'énergie solaire captée par un miroir formant gouttière parabolique sur une des faces, logements du personnel, etc. Un observatoire astronomique séparé l'accompagnerait à quelque distance. Il serait d'un fonctionnement automatique avec commande éventuelle à distance, pour éviter que les mouvements d'un observateur provoquent des déplacements intempestifs de l'axe pour les poses de longue durée.

L'accès au satellite s'effectuerait suivant un procédé assez original, au moyen de « taxis ». Ce seraient de petits véhicules étanches propulsés par des fusées, et dans lesquels prendraient place les astronautes débarquant d'une

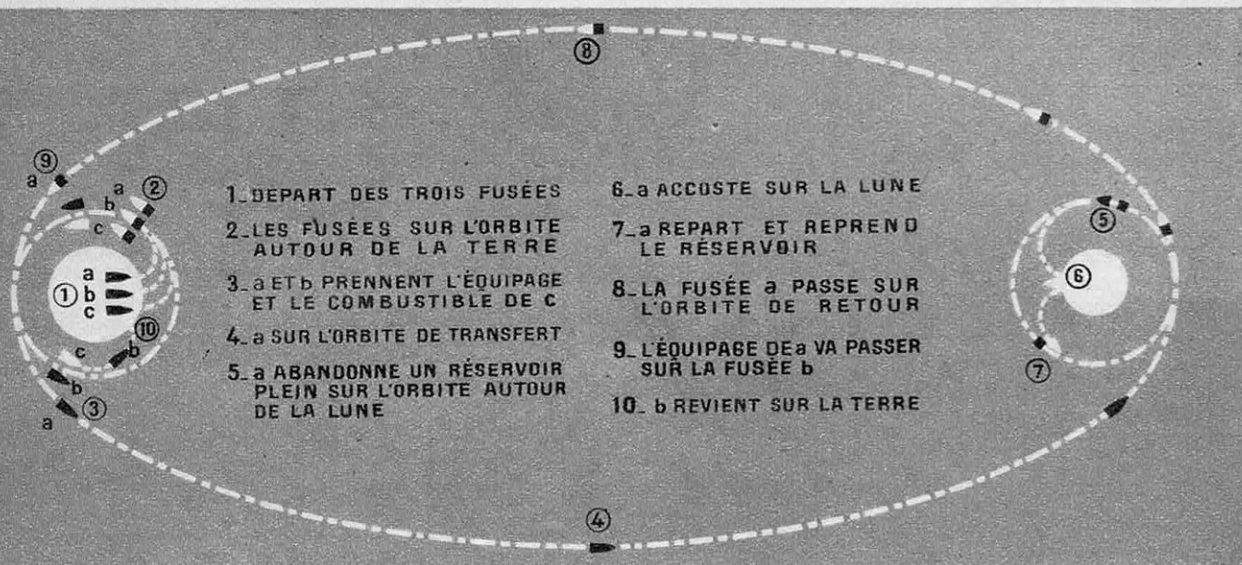
fusée et qui les amènerait au moyeu de la roue immobile. Ils s'engageraient dans des conduits évases, à la manière d'un bouchon dans une carafe, et l'étanchéité étant ainsi assurée, le passage du « taxi » à la station se ferait sans qu'on ait besoin de recourir à des scaphandres.

LE VOYAGE A LA LUNE

La Lune a une masse qui vaut environ 0,0123 fois celle de la Terre. La pesanteur à sa surface est seulement de 0,16 g. Nous pourrions pacer pour elle un diagramme analogue à celui que nous avons dressé pour la Terre (page 141) pour mettre en évidence le travail à accomplir pour éloigner une masse de sa surface à l'infini.

sur un astre dépourvu d'atmosphère, bien qu'évidemment les problèmes de manutention y soient simplifiés par la faible valeur de la pesanteur.

La vitesse de libération sur la Lune est de 2,3 km/s. Elle apparaît très modérée et les fusées modernes atteignent facilement des vitesses de cet ordre. Dans l'état actuel de la technique, il serait aisé de lancer un engin de la surface de la Lune pour le faire tomber sur la Terre, l'inverse étant beaucoup plus difficile. Il faudrait lui donner au départ de la Terre une vitesse pas très inférieure à la vitesse de libération (11,2 km/s) pour qu'il parvienne avec une vitesse presque nulle au point situé entre la Terre et la Lune où l'attraction des deux astres s'équilibre, soit à quelque 40 000 km de la



● Le projet de voyage à la Lune de H. E. Ross prévoit une première étape sur une orbite circulaire de la Terre et une seconde autour de la Lune. Une judicieuse répar-

titution des charges abandonnées sur ces orbites et utilisées au retour pour le ravitaillement en combustible permettrait à un astronef d'accoster sur notre satellite.

Nous trouverions qu'il est égal au travail à fournir pour élever cette masse à 278 km de hauteur, en supposant l'accélération de la pesanteur constante et égale à ce qu'elle est sur la Terre. Le « puits » de la Lune serait donc beaucoup moins profond que celui de la Terre et il serait beaucoup plus aisé d'en sortir. Mettant cette remarque à profit, un certain nombre d'auteurs ont proposé d'aménager sur notre satellite une véritable base de départ pour l'exploration des autres planètes. Il en est même qui se sont demandé sérieusement si on ne pourrait pas entreprendre sur la Lune une véritable exploitation minière pour s'y procurer des matières premières à élaborer sur place et y construire des astronefs à destination des autres mondes. Il est certain que de sérieuses économies seraient ainsi obtenues, car le prix du transport sur la Lune d'équipements fabriqués sur la Terre est très élevé. Il est cependant prudent de faire quelques réserves sur la possibilité d'une telle entreprise

Lune. Au-delà, attiré par la Lune, il tomberait sur elle et atteindrait sa surface avec une vitesse voisine de 2,3 km/s. La Lune n'ayant pas d'atmosphère, on n'a pas la ressource, comme pour le retour sur la Terre, de freiner le mouvement par frottement aérodynamique. Il faudrait mettre en action des fusées capables de fournir la même vitesse finale. On voit que, pour le voyage Terre-Lune, la vitesse caractéristique théorique serait de $11,2 + 2,3 = 13,5$ km/s. En tenant compte des pertes par frottement et par gravité à la traversée de l'atmosphère terrestre et de la marge de manœuvre nécessaire, divers auteurs arrivent au chiffre de 16 km/s. E. Burgess, admettant une vitesse d'échappement des gaz de combustion de 4 000 m/s, bien supérieure à ce que nous savons actuellement réaliser, en déduit le rapport de masse de l'engin, voisin de 30 (la V-2 a un rapport de masse de 3,5 environ). Si on envisage un voyage aller et retour, avec freinage sur la Terre par fusées, la vitesse caractéristique est double, soit 32 km/s

et le rapport de masse ressort à 860, absolument irréalisable.

E. Burgess a tenté d'évaluer le poids au départ d'un engin capable d'effectuer l'aller et le retour, en abandonnant en différents points du voyage les parties de charpente, moteurs-fusées, etc., qui ont rempli leur office et qui constituent un poids mort inutile. Il a trouvé que, pour une charge utile de 1 tonne, ce qui semble modeste, puisqu'elle comprendrait le poids de la cabine étanche, du personnel, de son équipement et de ses réserves alimentaires et respiratoires, l'engin pèserait au lancement 3 250 tonnes. Encore ce calcul paraît-il optimiste, car il suppose une vitesse d'éjection de 4 000 m/s. Seul le freinage atmosphérique au retour sur la Terre permettrait des gains de poids appréciables.

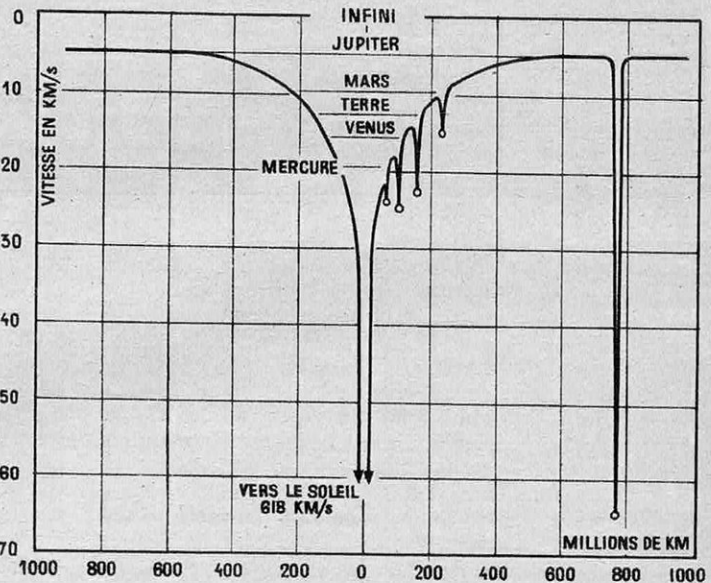
Si l'on ne recule pas devant la dépense, on peut envisager de mettre à profit la technique des satellites artificiels pour constituer des relais alimentés par des fusées plus ou moins nombreuses et où l'engin accomplissant le voyage se ravitaillerait en combustible en cours de route. De ce fait, on pourrait donner à ce dernier des dimensions acceptables. Plusieurs combinaisons sont possibles et la figure page 152 en indique les principes. La plus compliquée et aussi la plus séduisante prévoit l'emploi de deux orbites circulaires, l'une autour de la Terre, l'autre autour de la Lune, avec passage de l'une à l'autre par une courbe de transfert tangente aux deux, la montée et la descente des deux astres aux orbites circulaires s'effectuant également par des ellipses de transfert.

Un projet étudié par H. E. Ross montre les avantages pratiques, si l'on ose dire, de telles méthodes. H. E. Ross suppose au départ des astronefs pesant 442 tonnes et dont les moteurs-fusées éjectent leurs gaz à 5 000 m/s (bien au-delà des possibilités actuelles). Trois de ces astronefs se donneraient rendez-vous sur une orbite circulaire à 800 km d'altitude environ. L'un d'eux, abandonnant une partie de sa charpente et ravitaillé en combustible par les deux autres, passerait sur une orbite de transfert avec 3 hommes d'équipage (il pèserait alors 65 tonnes) et arriverait sur une orbite circulaire autour de la Lune. Il abandonnerait là des réservoirs à combustible pleins et descendrait sur la Lune.

Pour le voyage de retour, l'engin regagnerait d'abord l'orbite circulaire de la Lune, y retrouverait le combustible mis en réserve et repartirait par l'orbite de transfert sur l'orbite circulaire de la Terre. Après un nouveau ravitaillement, ou plus simplement en faisant passer l'équipage sur un des deux astronefs qui y gravitent et où on aura laissé une provision de combustible, il ne resterait qu'à regagner la Terre.

Un peu plus compliqué est le processus ima-

giné par von Braun et décrit par « Colliers ». Il suppose que l'on part de l'orbite de 2 heures, mais, comme nous l'avons vu, son orbite n'est pas dans le plan de l'équateur, de sorte qu'il faut calculer soigneusement l'instant du départ afin d'atteindre l'un des deux points où l'orbite de la Lune coupe le plan de l'orbite de 2 heures, au moment précis où la Lune passe par ce point. Au retour, il faudra quitter la Lune lorsqu'elle repassera par l'un de ces points, de sorte qu'entre l'arrivée et le départ sur la Lune il devra s'écouler deux semaines environ, ou un multiple de deux semaines, délai que les explorateurs pourront mettre à profit pour visiter notre satellite. La durée du voyage Terre-Lune serait de 5 jours environ. Von Braun prévoit 3 véhicules, de formes assez

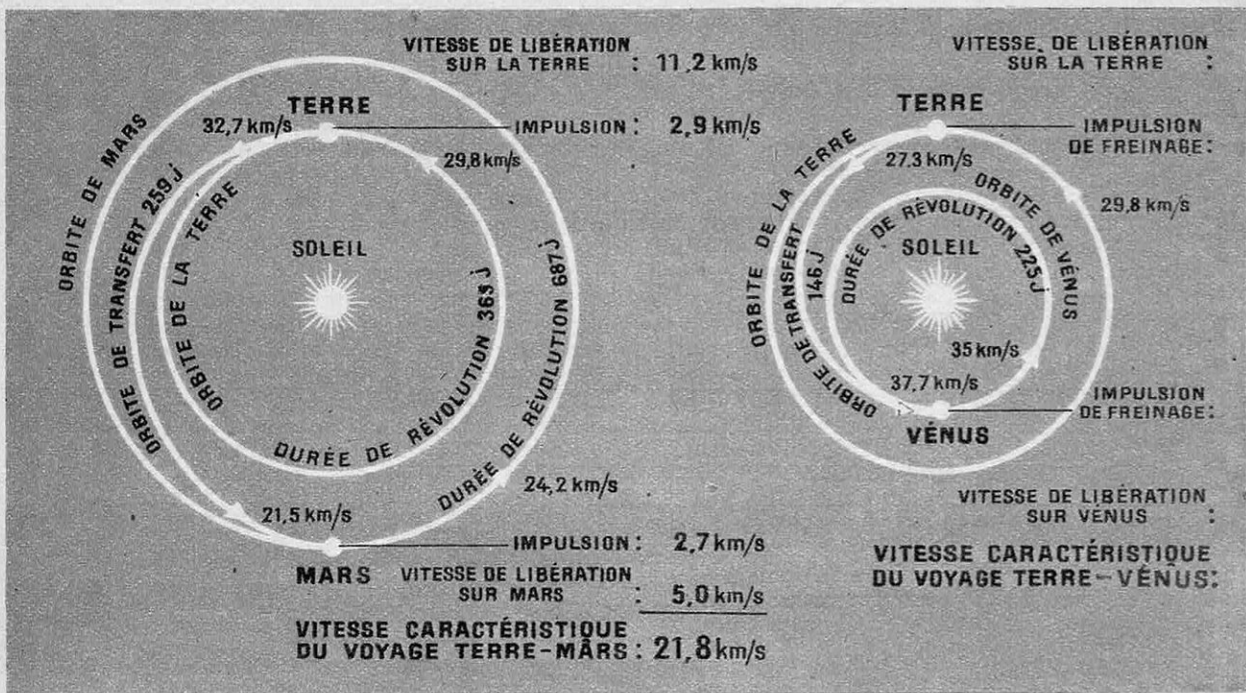


● Ce graphique, évoquant la page 141, montre le « puits » gravifique du Soleil et des planètes jusqu'à Jupiter, gradué cette fois en vitesses, celles qu'il faut aux diverses distances pour s'éloigner jusqu'à l'infini.

curieuses, bien différentes de ce que l'on attribue en général aux astronefs. C'est que pour la navigation dans le vide, tout souci d'aérodynamisme est superflu. Deux des véhicules effectueraient l'aller et le retour à partir de l'orbite de 2 heures en abandonnant en chemin leurs réservoirs vides et le troisième, emportant une réserve de combustible pour le ravitaillement des deux autres et du matériel, serait abandonné avec celui-ci sur la Lune.

LE VOYAGE AUX PLANÈTES

L'étude très sommaire à laquelle nous venons de nous livrer montre que le voyage à la Lune, malgré toutes ses complications, est du domaine des choses possibles, tout au moins si l'on fait preuve d'un sérieux optimisme quant au progrès de la technique au cours des prochaines années. Le voyage aux planètes constituera l'étape suivante. Encore ne s'agira-t-il que des



planètes les plus proches, Vénus et Mars, les seules intéressantes, semble-t-il, d'après les données de l'astronomie telles qu'elles ont été exposées dans un chapitre précédent.

Le problème général ne diffère pas sensiblement de ceux rencontrés jusqu'ici. Toute l'astronautique n'est au fond qu'une branche de la mécanique céleste. Dans le champ gravifique de la Terre, comme dans celui des planètes où l'on pénétrera éventuellement, les astronefs se meuvent suivant les mêmes trajectoires que les satellites; dans le champ gravifique du Soleil, ils se meuvent suivant les mêmes trajectoires que les planètes ou les comètes. Naturellement il s'agit de vol libre, sans autopropulsion, c'est-à-dire sauf pendant les périodes où les propulseurs sont en action; ces périodes sont généralement très courtes (de l'ordre de 10 minutes pour aller en un point quelconque du système solaire), sauf si l'on envisage l'intervention de propulseurs spéciaux, tels que les fusées ioniques.

Ainsi, à travers le système solaire, la plupart des mouvements des astronefs se feront suivant des ellipses, avec le Soleil pour foyer, et lorsqu'on voudra passer d'une trajectoire à une autre, il suffira de faire varier la grandeur et non la direction de la vitesse, à condition cependant que les deux trajectoires soient dans le même plan. Or, précisément, les orbites des planètes ne sont pas dans le même plan. L'écart est assez faible : 3°,4 pour celle de Vénus, 1°,9 pour celle de Mars, mais il se traduit par des distances considérables pour certaines positions des planètes : Vénus peut s'écarter à 6,4 millions de kilomètres du plan de l'écliptique, et Mars à 8 millions de kilomètres. Il faudra donc, au moment convenable, modifier la direction de l'astronef et cela ne pourra être réalisé qu'en le plaçant à l'angle droit

sur sa trajectoire initiale, c'est-à-dire en le faisant tourner de 90° à l'aide, par exemple, du système de volants évoqué plus haut, et en mettant en action ses propulseurs, pour obtenir, par composition des vitesses, la direction désirée. Une telle manœuvre sera toujours terriblement coûteuse en combustible, et elle exigera de laborieux calculs et un repérage exact de l'astronef sur sa trajectoire, ce qui soulève de nombreuses difficultés, sur lesquelles nous ne nous étendrons point.

Comme nous l'avons fait pour les satellites artificiels et pour la Lune, nous essaierons de chiffrer les performances à exiger des astronefs interplanétaires en « vitesses caractéristiques ».

Entre le champ gravifique de la Terre et celui du Soleil, il n'y a pas de différence de nature, mais seulement d'intensité. Cette différence est à vrai dire colossale et si nous voulions dresser un graphique analogue à celui de la page 141 pour le Soleil, le « puits » serait profond de 20 millions de kilomètres. La vitesse de libération à la surface du Soleil est de 618 km/s, mais elle diminue rapidement à mesure qu'on s'en éloigne. C'est ce que représente le graphique de la page 153, reproduit d'après A. C. Clarke. On voit sur la partie gauche de la figure comment varie cette vitesse de libération avec la distance. Sur la partie droite, les planètes jusqu'à Jupiter inclus ont été indiquées à leurs éloignements respectifs et pour chacune d'elles on a dessiné un « puits » (chiffré en vitesses cette fois, et non en énergie) dont la profondeur est fonction de la vitesse de libération correspondante. Ce graphique peut être très utile aux astronautes pour évaluer, en première approximation, les difficultés à surmonter pour passer d'une planète à une autre. Comme l'a fait remarquer Clarke, on voit qu'il serait plus facile d'aller de Mercure

11,2 km/s

2,5 km/s

2,7 km/s

10,4 km/s

26,8 km/s

● Ces deux croquis illustrent l'application de la méthode des ellipses bitangentes aux voyages à Vénus et à Mars. L'astronaf possède à l'origine la même vitesse que la Terre sur son orbite et une impulsion (accélération ou freinage) est nécessaire pour l'engager sur l'orbite de transfert qu'il parcourt en vol libre dans le champ solaire. Une autre impulsion (accélération ou freinage) est nécessaire pour l'établir sur l'orbite de la planète visée. La vitesse caractéristique s'en déduit en ajoutant les vitesses de libération aux deux impulsions.

Divers artifices permettraient de les réduire, en particulier l'utilisation systématique du freinage atmosphérique. Mais ils resteraient encore considérables. Peut-être, si l'on admet de prendre le départ sur la Lune, ce qui suppose l'établissement préalable d'une base sur notre satellite, et en communiquant par une seule impulsion la résultante de la vitesse de libération et de la vitesse de transfert, pourrait-on envisager un voyage aller et retour à Mars qui ne demanderait plus, d'après E. Burgess, qu'un rapport de masse de 125; si l'on borne son ambition à se poser sur le petit satellite de Mars, Deïmos, où la pesanteur est pratiquement nulle, le rapport de masse tombe à 38,4, toujours en partant de la Lune et en y revenant. Ce chiffre n'a plus rien d'effrayant. Mais alors, ne pourrait-on envisager d'installer sur Deïmos une base analogue à la base lunaire? Partir de Deïmos, accoster sur Mars et revenir sur Deïmos n'exige que 6 km/s, soit un rapport de masse de 20. Le problème est résolu. Mais à quel prix?

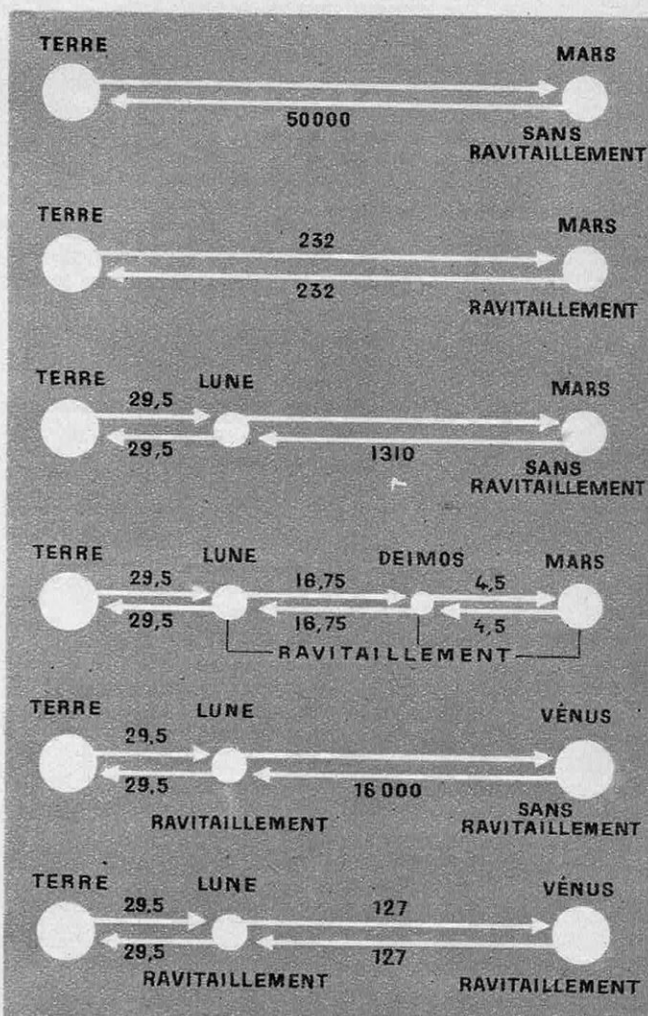
Les ellipses de transfert tangentes aux deux orbites sont les trajectoires les plus économiques

a Jupiter que de Vénus à Jupiter, bien que Mercure soit plus proche du Soleil que Vénus.

Le schéma général d'un voyage interplanétaire, très simplifié, sera le suivant : il faut d'abord quitter la Terre, et pour cela acquérir une vitesse voisine de la vitesse de libération. Puis passer de l'orbite terrestre (que nous supposons circulaire pour simplifier) sur une ellipse de transfert; un supplément de vitesse donnera une ellipse extérieure qui permettra d'accéder aux planètes supérieures (Mars, par exemple) et une réduction de vitesse donnera une ellipse intérieure conduisant aux planètes inférieures (Vénus, par exemple). Parvenus sur l'orbite de la planète visée, il faudra ou accélérer ou freiner pour égaliser la vitesse de l'astronaf et celle de la planète. Enfin, pour accoster, il faudra donner une impulsion correspondant à la vitesse de libération de la planète (à moins qu'on ne puisse pratiquer un freinage aérodynamique). La vitesse caractéristique est donc la somme de quatre termes. Si on fait le calcul, on trouve pour Vénus 26,8 km/s, et pour Mars 21,8 km/s. E. Burgess a calculé les rapports de masse correspondants (en admettant 4 000 m/s pour la vitesse d'éjection) : 810 pour Vénus et 232 pour Mars.

Ce sont déjà des chiffres respectables, et pourtant il ne s'agit que de voyages aller. Pour l'aller et le retour, les vitesses caractéristiques doublent, mais les rapports de masse croissent beaucoup plus vite : pour Mars on trouve 50 000, et pour Vénus 650 000. Nous arriverons là à des tonnages véritablement astronomiques.

Voici, d'après Burgess, divers schémas possibles pour le voyage à Mars ou Vénus, avec les rapports de masse correspondants. Le plus acceptable prévoit des escales avec ravitaillement sur la Lune, Deïmos et Mars.



en combustible, puisque pratiquement tout le voyage s'effectue sans intervention des propulseurs. Mais la durée du parcours est assez longue : 146 jours pour Vénus, 237 jours pour Mars.

On peut certes la réduire en parcourant des ellipses de plus grande excentricité, mais alors on coupe les orbites des planètes sous un angle très prononcé et on est obligé d'opérer, non seulement des changements de vitesse, mais des changements de direction dont nous avons déjà dit qu'ils sont très onéreux. On peut aussi envisager d'appliquer à l'astronef une force propulsive pendant une partie sinon la totalité du voyage. La consommation devient alors colossale avec les propulseurs chimiques; seules les techniques ioniques pourraient donner la clef du problème.

LE VOYAGE INTERSTELLAIRE

C'est un nouveau bond dans l'espace que nous allons maintenant entreprendre, un bond non plus de millions de kilomètres, mais de milliards ou de milliers de milliards. Nous allons dépasser non seulement les bornes du possible, mais aussi celles du vraisemblable.

Toutes les considérations astronautiques spéculent largement sur l'avenir, tenant pour acquis des progrès techniques qui se feront peut-être longtemps attendre. Nous avons vu plusieurs auteurs fonder leurs calculs sur des vitesses d'éjection de 4 000 ou 5 000 m/s, alors qu'on n'a guère dépassé 2 400 m/s dans les tuyères les plus évoluées. Nous avons envisagé sans frémir des vitesses d'astronefs de 10 ou 20 km/s. Pourquoi nous arrêter en si beau chemin? Rien n'empêche — sur le papier — d'établir un astronef qui se lancerait à 10 000 km/s. Le fameux rapport de masse serait énorme avec les mélanges chimiques, même les plus puissants; mais les techniques atomiques n'en sont qu'à leurs débuts, et même sans inventer des lois physiques nouvelles et problématiques, on peut imaginer des systèmes de propulsion, sans utilité pour des vols de « courte » durée comme les voyages à Mars ou à Vénus, mais qui prendraient tout leur intérêt pour les traversées vraiment « au long cours », vers les étoiles. Des dispositifs tels que les fusées ioniques, exerçant une poussée très faible, mais pendant des mois ou des années, pourraient communiquer à un astronef des vitesses considérables.

Elles sont d'ailleurs indispensables. Pour atteindre la région de l'étoile α du Centaure, la plus proche de nous bien qu'à une distance de 4,3 années-lumière, il faudrait 130 000 ans à 10 km/s. A 10 000 km/s, il ne faudrait plus que 130 ans. C'est encore beaucoup, certes, mais L. R. Shepherd, qui a étudié cet aspect du problème astronautique, fait remarquer que le vol interstellaire impose une nouvelle philosophie de l'exploration. Jusqu'ici, dans la découverte de régions inconnues du globe, les pionniers songeaient au retour; les comptoirs qu'ils établissaient, les colonies qu'ils fondaient restaient en liaison constante avec la métropole.

Les astronautes iront sur la Lune, sur Mars et sur Vénus en comptant bien en revenir. Vers les autres mondes stellaires, il n'y aura pas de retour. L'explorateur partira avec la certitude de ne jamais revoir sa planète natale et aussi avec la certitude de ne pas connaître la planète où accostera l'astronef, s'il en trouve une. Quel serait alors le but de l'expédition?

Pour L. R. Shepherd, ce n'est pas un point de vue satisfaisant pour l'esprit que de considérer l'humanité comme irrémédiablement liée à une seule planète ou, si l'on veut, à un seul système solaire en admettant qu'elle réussisse à s'établir sur Mars ou Vénus, toujours à la merci d'un cataclysme, improbable mais possible. Il vaudrait mieux, pour assurer son avenir, qu'elle peuple plusieurs mondes au lieu d'un seul. Il s'agit en somme d'essaimer à travers l'espace, et le problème n'est plus de transporter un homme ou même quelques hommes, mais une communauté. Alors la durée ne compte plus, les générations pouvant se succéder à bord de cette véritable arche de Noé que constituerait l'astronef et qui pendant cent ou peut-être mille ans chercherait un astre accueillant.

S'en trouverait-il? Aux dires des astronomes, c'est très probable, mais il faudra sans aucun doute chercher plus loin que α Centaure. On est à peu près sûr que les étoiles 61 Cygne (10,7 années-lumière) et 70 Ophiucus (12 années-lumière) possèdent un système planétaire. Les conditions se prêteraient-elles à la vie humaine? On ne sait et on ne le saura peut-être jamais qu'en allant voir sur place.

L. R. Shepherd, après bien d'autres, a aussi envisagé le cas où l'astronef se propulserait à une vitesse voisine de celle de la lumière. Cette hypothèse est purement gratuite car il faudrait que l'homme disposât de sources d'énergie beaucoup plus puissantes que tout ce qu'on connaît, et on peut même se demander si la transformation intégrale de la matière en énergie y suffirait. Mais cela n'empêche pas les astronautes de discuter les conditions d'un tel voyage. Elles ont de quoi surprendre.

La vitesse de la lumière, d'après la théorie d'Einstein, est une vitesse limite et si un mobile s'en approchait suffisamment, il se manifesterait une contraction apparente des longueurs, qui ne présente pas pour nous d'intérêt particulier, et une dilatation apparente du temps. C'est dire que le temps, au sens physique et biologique du mot, s'écoulerait moins vite pour l'astronaute que pour les observateurs restés sur la Terre, pratiquement au repos. Ce paradoxe est connu sous le nom de « paradoxe du voyageur de Langevin ». Ainsi, si un astronaute va du système solaire à Procyon, à 10,4 années-lumière, et en revient à une vitesse constante inférieure seulement de 1 % à la vitesse de la lumière (voisine de 300 000 km/s), il mesure, d'après ses horloges et d'après le vieillissement de ses organes, une durée de 3 ans. Quant aux observateurs qui sont demeurés sur le système solaire, ils assistent à son retour 21 ans après son départ.

Nous préférons laisser aux auteurs de romans d'anticipations le soin de développer ce thème.

Charles Lessac.



LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

24, RUE CHAUCHAT. PARIS 9^e. TÉL. TAI. 72-86

Cette bibliographie a été établie d'après le catalogue général 1953 (nouvelle édition).

ASTRONAUTIQUE

LA PHYSIQUE MODERNE (Castelfranchi G.). Tome I : Les molécules dans les gaz. Fluctuations. Le mouvement brownien. La relativité. L'électron et les métaux. L'isotopie. Les rayons X et la structure cristalline. La radioactivité et la charge nucléaire. Théorie des quanta et niveaux d'énergie. 400 p. 16 x 25, 130 fig. 3^e édit. 1949, relié..... **1.800 »**

Tome II : Effet Zeeman. Spin. Structure atomique. Chaleurs spécifiques. Photoélectricité. Effet Compton. Le magnétisme atomique. Mécanique ondulatoire et statistiques. Physique nucléaire et bombe atomique. Rayons cosmiques. Astrophysique. 422 p. 16 x 25, 97 fig. 3^e édit. 1949, relié... **1.950 »**

L'ASTRONAUTIQUE (Esnault-Pelterie R.). Mouvement de la fusée dans le vide, dans l'air. Densité et composition de la très haute atmosphère. Détonation des gaz de la combustion dans une tuyère. Combustion dans une chambre. Utilisation possible des fusées. Voyages interplanétaires. Intérêt de l'exploration planétaire. 250 p. 16 x 25, 19 fig. 9 pl. hors-texte, 1930..... **360 »**

Complément : Mouvement d'un mobile dans un champ gravitant. Variations de mouvement d'un mobile sans point d'appui. Mouvement de la fusée dans l'air. Tuyère de détonation des gaz de la combustion. Combustion dans une chambre. Utilisation possible des fusées. Voyages interstellaires. Astronautique, atomistique et relativité. 100 p. 16 x 25, nbr. fig. 1 pl. hors-texte 1935..... **180 »**

L'ASTRONAUTIQUE (Ananoff A.). Le rêve sublime de l'humanité. Bases du problème astronautique. De la fusée à poudre à la propulsion atomique. Réalisations et projets pré-astronautiques. Le problème du véhicule cosmique. Trajectoires, distances et durées des voyages interplanétaires. Dans l'espace. Plaidoyer de l'astronautique. 498 p. 13 x 20, 155 fig. 1950..... **800 »**

L'ASTRONAUTIQUE (Laming L.). Principes de la réaction et des fusées. Les grandes fusées actuelles. L'astronautique et l'énergie atomique. Navigation et trajectoire. Problèmes physiologiques. Les planètes à explorer. Applications de l'Astronautique. 110 p. 11,5 x 18, 10 fig. 1950..... **150 »**

PROPULSION PAR RÉACTION (Smith G. G.). Poussée et performances. Propulsion par réaction ou par hélice. Éléments de la turbine à gaz. Système de combustion, alimentation en carburant. Problèmes posés par la métallurgie. Turbines à gaz britanniques, américaines, Allemagne : avions et entretien. Avions propulsés par réaction. Problèmes aérodynamiques. Avions sans queue et ailes volantes. Discussions des tendances et des possibilités. Moteurs compound. Stato et pulso-réacteurs. Propulsion par fusée. Turbines à gaz à pression constante fonctionnant en cycle fermé : milieux actifs gazeux et liquides. Turbines pour véhicules routiers. Adoption officielle des avions à réaction. Point de vue des techniciens sur la propulsion par turbines à gaz. Productions françaises récentes : turbo-réacteurs, Pulsoréacteurs. Avions. Hélicoptères. 440 p. 14 x 22, nbr. fig. 2^e édit. 1952, relié..... **2.900 »**

LE MOTEUR A RÉACTION (Kalinin A. et Laborie). Principe de la réaction. Moteurs à réaction sans compresseur d'air. Turbo-réacteur. Essais. Poussée et puissance des turbo-réacteurs. Installations des turbo-réacteurs sur avions. Entretien, pannes. Moteurs à réaction avec compresseur autres que les turbo-réacteurs. Caractéristiques de quelques turbo-réacteurs. 251 p. 13,5 x 21, nbr. fig. 1952..... **1.450 »**

MOTEURS A RÉACTION. (Lavoisier G.). Principe de la réaction. Réalisation des turbo-machine. Quelques propulseurs modernes à réaction. Perfectionnement et évolution des réacteurs. et de la turbine. L'entretien des réacteurs. 233 p. 13 x 21, 53 fig. 1952..... **1.200 »**

ENGINS TÉLÉGUIDÉS, AVIONS ROBOTS (Weyl A. R.). Principes et éléments. Genèse des engins téléguidés. Le développement de l'avion robot. Développement des projectiles fusées à longue portée. Le V 2. Engins téléguidés de dimensions restreintes. 174 p. 14 x 22, 54 fig. 8 tabl. 1952... **1.150 »**

VOYAGES INTERPLANÉTAIRES ET ÉNERGIE ATOMIQUE (Richard-Foy R.). Préface de M. de Broglie. Les données de l'astronomie. Vitesse au cours du voyage. Propulsion par réaction dans le vide. Fonctionnement thermodynamique. Sujétions propres à l'emploi de l'énergie atomique. Quelques problèmes particuliers. Propulsion dans l'atmosphère. 78 p. 12 x 18..... **150 »**

L'HUMANITÉ DEVANT LA NAVIGATION INTERPLANÉTAIRE (Ducrocq A.). On navigue dans le vide. Les fusées interplanétaires. A bord de l'Astronef. Mars, seconde terre ? Deimos et Phobos. Le rôle du radar. La lune, ce roc inaccessible et ingrat. Le fief des autres mondes. La loi logistique de l'humanité. La vie dans l'univers. Désintégration macroscopique ? Dématérialisation. Énergie et moteur nucléaires. 217 p. 13 x 19, 10 pl. hors-texte..... **360 »**

MACHINES ATOMIQUES, CYCLOTRON ET AUTRES ACCÉLÉRATEURS, PILES ATOMIQUES (Nahmias E.). Description de la méthode. Le champ magnétique. La H. F. et le voltage sur les Dees. Possibilités et limitations de la technique du Cyclotron. Déviation des ions vers la Cible. La source d'ions. L'utilisation des faisceaux d'ions et des Cibles. L'équipement pour le vide. Dispositifs de sécurité. Applications aux sciences physiques, biologiques et à la Médecine. Installations types pour un cyclotron. Le Synchro-cyclotron. Microtron. Synchrotron et Racetrack. Le Bétatron. Autres techniques d'accélération de particules électrisées. Les piles atomiques. Compléments techniques. 310 p. 14 x 22, 102 fig. 28 hors-texte, 1 dépliant, 1950..... **1.200 »**

DE L'ATOME A L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE (Berthelot A.). De la matière à l'atome. Structure de l'atome et de son noyau. La radioactivité naturelle. Les techniques expérimentales en radioactivité. Les rayonnements des corps radioactifs. Transformations. Radioactivité artificielle. Neutrons. Les techniques de production artificielle de particules transmutantes. La fission de l'uranium et l'énergie nucléaire. 231 p. 14 x 19, 33 fig. 32 photos, 1947..... **275 »**

LES HORIZONS DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE (Ducrocq A.). Notre chimie classique. Le noyau et ses constituants. Les métaux fissibles. Piles à uranium. La fabrication du plutonium. Vers la centrale électrique atomique. Locomotives atomiques. La propulsion atomique dans la marine. Fusées utilisant l'énergie atomique. Moteurs à réaction. L'énergie atomique et l'aviation. La bombe atomique. Applications médicales de l'énergie atomique. L'énergie atomique dans l'univers. Age atomique. 279 p. 13 x 19, 1949..... **450 »**

LES SOUCOUPES VOLANTES (Heard G.). De quelle planète viennent-elles ? Qui les pilote ? Les débuts de l'aventure. Le mystère de l'île Maury. Deux pilotes de lignes signalent. La chasse tragique. La chasse au fantôme. Plus vite que la super-fusée. L'opération soucoupe-et l'opinion publique. L'appareil et son mode d'énergie. 223 p. 14 x 19, 5 pl. hors-texte. **360 »**

LES SOUCOUPES VOLANTES EXISTENT (Keyhoe D.). Une étude sur 375 cas. Les conclusions des derniers rapports officiels américains. 232 p. 12 x 18,5..... **330 »**

LES HABITANTS DES AUTRES PLANÈTES (Kenneth Heuer). Communications et voyages interplanétaires. Il existe partout d'autres mondes habités. Les Lunariens. Les Solariens. Mercuriens et Vénusiens. Martiens et habitants des Astéroïdes. Joviens, Saturniens, Uraniens, Neptuniens et habitants des comètes. Planétariens des autres systèmes. Annuaire et recensement. 222 p. 12 x 19, 7 fig. 1952..... **510 »**

C'EST ARRIVÉ APRÈS-DEMAIN (Low A. M.). Essai prophétique. L'aube de l'âge atomique. Le monde des robots. Les transports de demain. Sports et loisirs de demain. La radio de l'avenir. Hygiène et médecine de demain. L'alimentation de demain. La guerre de l'avenir. Crime, châtement et morale de demain. Où tout cela nous mène-t-il? 248 p. 14 x 19, 1952..... 630 »

ASTRONOMIE

ASTRONOMIE GÉNÉRALE. Danjon A. Astronomie sphérique. Le mouvement diurne. Mouvement apparent du soleil. Déplacement des plans fondamentaux : la précession, la nutation. Un effet optique du mouvement relatif : l'aberration. La temps et les variations de la rotation de la terre. Effets géométriques des déplacements relatifs parallaxes et mouvements propres. La réfraction astronomique. — **Éléments de mécanique céleste.** Mouvement des planètes et des comètes. Détermination des orbites. Les perturbations. Mouvement de la lune. Éclipses, occultations, passages. Lune, planètes et satellites, rotation, phases. Orbite des étoiles doubles visuelles. Interpolation, dérivation, intégration d'une fonction définie par une table numérique. 454 p. 21 x 27, 1952, relié 6.000 »

ASTRONOMIE, LES ASTRES, L'UNIVERS. Rudaux L. et Vaucouleurs G. (de). Cet ouvrage présente pour la première fois, en un langage accessible à tous, avec les acquisitions consacrées de l'astronomie classique, les découvertes les plus récentes de l'astronomie moderne. Près de 900 grav. dont un grand nombre de photos du ciel prises dans les grands observatoires. 1 vol. de 500 p. 21 x 30, illustré de 866 héliogravures et 12 pl. en coul. reliure art. fer doré 4.200 »

LES PLANÈTES (Bruhat G. et Schatzman E.). La Terre. La Lune. La surface des planètes. Structure interne des planètes. Étude particulière des planètes et de leurs satellites. Petites planètes, comètes, météores, météorites. Lumière zodiacale. Les théories cosmogoniques. 303 p. 14 x 19, 41 fig. 8 pl. hors-texte, 1952..... 1.200 »

L'EXPANSION DE L'UNIVERS (Couderc P.). La partie de l'Univers que nous connaissons. Mesure des distances en Astronomie. Le royaume des Galaxies. L'espace-temps non euclidien. Courbure locale. L'Univers statique d'Einstein et l'Univers pseudo-statique de De Sitter. L'Univers en expansion. Les vestiges d'un état très dense de l'Univers. 222 p. 14 x 19, 34 fig. 12 pl. hors-texte, 1950..... 500 »

PHYSIQUE DE LA PLANÈTE MARS, Introduction à l'Aérophysique (de Vaucouleurs G.). L'atmosphère martienne. La climatologie martienne. Les calottes polaires et l'eau sur Mars. La surface martienne. La constitution interne de Mars. Recherches. 420 p. 14 x 19, 50 fig. 1951..... 825 »

L'ARCHITECTURE DE L'UNIVERS (Couderc P.). Connaissance des étoiles. L'évolution des étoiles. Evolution des systèmes stellaires. Le milieu cosmique. L'âge de l'Univers. 136 p. 13,5 x 18, 17 fig. 10 pl. hors-texte. 1947..... 350 »

LES FRONTIÈRES DE L'ASTRONOMIE (Evans S.). Système solaire. Étoiles. Soleil. Singularités. Groupes, amas et nébuleuses. Vocabulaire. 228 p. 12 x 19, 47 fig. 8 pl. hors-texte 1948..... 280 »

LES GRANDS PROBLÈMES DE L'ASTRONOMIE (Gauzit J.). Les applications de l'analyse spectrale à l'astronomie. Les dimensions de l'Univers. La vie est-elle une exception dans l'Univers? Les phénomènes solaires. La variété des étoiles. L'énergie atomique, source de la lumière et de la vie. Qu'y a-t-il entre les étoiles? La Voie Lactée et la Galaxie. Les nébuleuses extragalactiques et l'expansion de l'Univers. L'âge de l'Univers. Vocabulaire. 173 p. 14,5 x 21,5, 15 fig. 16 pl. hors-texte, 1951..... 350 »

DES ASTRES MORTS AUX MONDES EN FEU (Gauroy P.) Le Ciel. La Lune. Arpentage céleste. Nefs de l'espace. Feux du ciel. Sondage des Abîmes. Galaxie. Les Univers-îles. L'Atome. 126 p. 13,5 x 21,5, 14 fig. 4 pl. 1947..... 200 »

DE L'ATOME A L'ÉTOILE (Rousseau P.). Un physicien en 1880. Explosion de trouvailes. Au cœur de la citadelle atomique. Les frontières de l'invisible. L'atome dans l'étoile. 128 p. 11,5 x 18, 21 fig. 1951..... 150 »

INITIATION A L'ÉTUDE DU CIEL (Pasquier P.). Comment connaître les étoiles. 48 p. 15,5 x 23, 7 pl. originales hors-texte constituant un Atlas Céleste comprenant les 800 étoiles principales visibles en France. 1951..... 330 »

POUR COMPRENDRE L'ASTRONOMIE (Moreux Th. Abbé). Notre observatoire terrestre. Première étude de la Terre. La Gravitation universelle. Képler et Newton. Le Soleil et les Planètes inférieures. Notre planète. La Terre. La Lune. Les Éclipses. Les Planètes supérieures, les Comètes et les Étoiles filantes. Les Étoiles. Les Amas et les Nébuleuses. La Voie Lactée. 222 p. 11 x 17,5, 95 fig. 1948..... 300 »

POUR COMPRENDRE L'ASTROPHYSIQUE (Rousseau P.). L'éclat des étoiles. La couleur des Étoiles. Une étoile : le Soleil. Spectres célestes. La chaleur des astres. Les révélations des raies spectrales. L'intérieur des étoiles. L'Astrophysique de demain. 191 p. 11 x 17,5, 58 fig. 1949... 300 »

POUR S'INITIER A LA MÉCANIQUE... CÉLESTE (Moreux Th. Abbé). Comment fut fondée la Mécanique céleste. La Gravitation universelle. Diamètres apparents. Distances et parallaxes. Les Masses. Les Vitesses. Les Perturbations. 173 p. 45 fig. 9 pl. 1949..... 300 »

POUR OBSERVER LE CIEL, Astronomie pratique (Moreux Th. Abbé). Nous construisons notre première lunette. Nous étudions la Lune et le Soleil. Comment étudier les Planètes. Les planètes difficiles à observer. Éclipses, comètes et météores. Les observations stellaires. Comment construire un cadran solaire. Comment on dresse le Calendrier d'une année. Calcul de la Fête de Pâques. Comment on dresse une Carte céleste. 204 p. 11 x 17,5, 94 fig. 1948..... 300 »

JEAN-FRANÇOIS, ASTRONOME (Rousseau P.). L'astronomie expliquée aux jeunes gens. 165 p. 16 x 23, 48 fig. 1950..... 250 »

LA CONSTRUCTION DU TÉLESCOPE D'AMATEUR (Texereau J.). Considérations générales et projet. Réalisation du grand miroir. Miroir plan diagonal. Les oculaires. Partie mécanique de télescope. La Monture azimutale. Accessoires. Finition. Réglages. L'instrument dans les conditions d'emploi réel. 136 p. 16 x 24,5, 70 fig. 1952..... 660 »

UNE DOCUMENTATION INDISPENSABLE

Notre catalogue général (Nouvelle édition), 3 500 titres d'ouvrages techniques et scientifiques sélectionnés 280 p. 13,5 x 21 : 120 fr. franco : 150 fr.

Les commandes doivent être adressées à la **LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE**, 24, rue Chauchat, Paris (9^e). Elles doivent être accompagnées de leur montant, soit sous forme de mandat-poste (mandat-carte ou mandat-lettre), soit sous forme de virement ou de versement au Compte Chèque Postal de la Librairie : Paris 4192-26. Au montant de la commande doivent être ajoutés les frais d'expédition, soit 10 % (avec un minimum de 30 fr.). Envoi recommandé : 25 fr. de supplément. (Étranger, 45 fr.).

Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, PARIS-9^e

SURPRISE UTILE ! OFFREZ-LUI UN "CONTROLEC"



Avant le voyage il contrôle le bon état du moteur ! Au moindre incident de route : Carburation ? Allumage ? il renseigne ! Ses 14 contrôles localisent la panne d'allumage, même sur le moteur arrêté : Vis, condensateur, bobine, fils, bougies, consommation, etc... *Hautes références!* Av. notice illustrée. 1790 fr. fco, 1850 fr. c rembt (+ Avion). *Brevet Controlec* 30, r, Arbalète, Paris. C. C. P. 7482-06.

Le plus grand spécialiste

de la

SERVIETTE EN CUIR



RIVOLI-VOYAGE

4, Boulevard de Sébastopol,
PARIS.

Il sera consenti 5 % d'escompte à toute personne se recommandant de la revue.

Catalogue gratuit sur demande.

● SANTÉ, ÉNERGIE DYNAMISME, LONGÉVITÉ ●

La technique **SURREPOS** du Docteur Pascaud (Médaille d'Or Exp. Int. Paris 1921) supprime définitivement **fatigue** et **surmenage**, doublant votre Énergie Vitale et procurant instantanément un *bien-être extraordinaire*, aux bien-portants et aux malades.



Basé sur les Lois de la Physiologie et de l'Anatomie (14 points exclusifs) le **SURREPOS**.

détend intégralement muscles, nerfs, cerveau. *1/4 d'heure de Surrepos remplace plusieurs heures de divan.*

Avec le Surrepos - recommandé et adopté par le Corps Médical une vie nouvelle s'ouvrira devant vous. Vous conserverez santé et dynamisme, vous connaîtrez pleinement la joie de vivre. Ajoutez 20 ans à votre jeunesse, 30 ans à votre vie, documentation N° 8 **GRATUITE**, au Surrepos du Docteur PASCAUD, 167, Boul. Haussmann. Paris-8^e.

SURDITÉ VAINCUE

Retour progressif d'audition normale. Plus de bourdonnements avec Micro-Tympan américain du Dr Reichmann, invisible. **SANS PILE. NI FIL.** Adaptable soi-même. Efficacité prouvée par liste d'attestations contrôlables. Aucun inconvénient d'amplification. Gratuit. Notice, attestations: J. ROUFFET et Cie (Serv. SE), 23, r St-Michel, MENTON (A.-M.).

LE RAYON FANTASTIQUE

la grande Collection Française de "Science-Fiction"

La Science est en avance de 50 ans sur notre mode de vie. Les récits d'anticipation du "RAYON FANTASTIQUE" vous feront vivre dans l'avenir fabuleux et réel des savants.

LE RAYON FANTASTIQUE

Une collection de romans où la réalité scientifique dépasse toutes les aventures imaginées à ce jour, où la psychologie se transforme avec le monde, où rien n'est impossible à l'homme.

LE CHOC DES MONDES
GUERRE AUX INVISIBLES

nrf

CRISTAL QUI SONGE
LE TRIANGLE A 4 COTÉS

RIEN QU'UN SURHOMME
LE SILENCE DE LA TERRE
sont parus dans

LE RAYON FANTASTIQUE

1100

Les yeux du monde
abrités sous le verre de contact



VERRES DE CONTACT
R.A. DUDRAGNE
VERRES DE CONTACT

Une production Française de renommée mondiale

Seuls les VERRES de CONTACT R. A. DUDRAGNE vous permettent de voir encore mieux, de paraître comme les autres, et de pratiquer tous les Sports sans danger. De nombreux médecins, des champions, des aviateurs en portent.

Exécutés sur prescription médicale.

Agréés par les ASSURANCES SOCIALES.

Un essai gratuit vous est offert

Documentez-vous :

**LABORATOIRE D'OPTIQUE
R. A. DUDRAGNE**

49, Bd de Courcelles, PARIS - WAG. 48-27

Ouvert chaque jour et le Samedi.

CORRESPONDANTS : PARIS - ALGER - ANGERS - BOURGES - BELFORT - BORDEAUX - BREST - CLERMONT - COLMAR - CASABLANCA - LYON - LILLE - LA ROCHELLE - LIMOGES - MARSEILLE - MULHOUSE - METZ - MONTPELLIER - MÉZIERES - NANTES - NICE - NANCY - PERPIGNAN - PAU - PÉRIGUEUX - FENNES - ROUEN - SAINT-ETIENNE - TOURS - TOULOUSE - TUNIS - VALENCE - ROME - MILAN - TURIN - NAPLES - TRIESTE - TARENTE - BRUXELLES - GENÈVE - LAUSANNE - OSLO - U.S.A - ANGLETERRE - BRÉSIL - ARGENTINE - ISRAEL, ETC.