

LA DÉCOUVERTE DES SATELLITES DE MARS

par **Gérard BODIFÉE**

Lorsqu'en 1610 Galilée découvrit les quatre gros satellites de Jupiter, la Terre fut détrônée une fois encore ; elle n'était plus, avec sa Lune unique, la planète privilégiée du système solaire. Il ne fallut pas attendre longtemps pour que l'on découvrit également des satellites à Saturne : le plus gros, Titan, fut observé par Christiaan Huygens en 1655 et, avant la fin du 17^e siècle, on lui connaissait cinq satellites. Par la suite, les découvertes continuèrent. On découvrit des satellites autour de toutes les planètes, à l'exception de Mercure, de Vénus, et du lointain Pluton. La dernière découverte confirmée, celle d'un treizième satellite à Jupiter, date de 1974.

Mars possède deux petits satellites : *Phobos* et *Deimos*. En raison de leurs faibles dimensions et de leur proximité à la planète, ces objets sont difficilement observables. Ceci explique pourquoi ces satellites furent découverts assez tardivement ; ce n'est que lors de l'opposition très favorable de Mars en 1877 qu'on les vit pour la première fois.

Le présent article est écrit à l'occasion du centenaire de cette découverte de Phobos et Deimos. Découverte qui a une histoire étrange, dans laquelle le pressentiment, la prophétie, la plaisanterie littéraire et le simple hasard ont tous joué un rôle. Il s'agit d'un épisode dans la découverte du système solaire, où l'on retrouve plutôt les ingrédients d'un ancien récit d'exploration que ceux d'un chapitre de la science du 19^e siècle.

KEPLER SE TROMPE

Pour trouver la première mention des satellites de Mars nous devons remonter jusqu'au début du 17^e siècle. Au début d'août 1610, Galilée envoya un message à l'ambassadeur de Toscane à Prague, lui demandant de le transmettre à Képler. La communication était fort mystérieuse :

SMAISMRILMEPOETALEUMIBUNENUGTTAURIAS

C'était l'anagramme d'une phrase grâce à laquelle Galilée voulait s'assurer la priorité d'une nouvelle découverte, sans la révéler immédiatement. Képler se mit au travail et parvint à extraire du message une phrase qu'il qualifia de « latin barbare » :

SALVE UMBISTINEUM GEMINATUM MARTIA PROLES

« Salut, jumeaux brûlants, descendants de Mars ». (Ceci est la traduction la plus raisonnable ; le mot *umbistineum* n'existe pas, mais pourrait être considéré comme provenant de *amburere*, brûler, roussir).

Képler en déduisit que Galilée avait découvert deux satellites de Mars. Passionnément convaincu de l'harmonie du Cosmos, Kepler y vit avec joie

la confirmation d'un ordre dans la structure du système solaire : la Terre possède une lune, Mars en a deux, Jupiter quatre...

Quelques mois plus tard, Galilée apprit que le secret de son anagramme intriguait même l'empereur Rodolphe II de Prague, et le 13 novembre 1610 il accepta que la solution soit divulguée. Le contenu exact du message était le suivant :

ALTISSIMUM PLANETAM TERGEMINUM OBSERVAVI

« J'ai observé que la planète la plus élevée est trijumelle. » Cette phrase se rapportait à la forme étrange que Saturne présentait dans la lunette de Galilée ; des deux côtés du petit disque il apercevait deux « appendices sphériques ». Il voyait en réalité l'anneau entourant cette planète, mais la piètre qualité de son instrument ne lui permettait pas encore de distinguer la nature réelle du phénomène ; il ne pouvait apercevoir que les parties de l'anneau débordant le disque de la planète — les anses — et encore si indistinctement qu'il croyait qu'il s'agissait d'objets ronds. (La vraie structure du phénomène ne fut reconnue qu'un demi-siècle plus tard par Huygens).

La révélation de la véritable signification de l'anagramme rendit caduque la petite phrase de Kepler en « latin barbare ». C'est pourtant grâce à cette phrase erronée que l'on peut attribuer au célèbre astronome allemand la primauté d'une prémonition qui allait se transformer en réalité deux siècles et demi plus tard.

LA LOGIQUE DE FONTENELLE

Lorsqu'il apparut que la Terre, Jupiter et Saturne étaient entourés de satellites, on se posa la question : pourquoi aucun satellite n'a-t-il été découvert autour de Mercure, de Vénus et de Mars ? Cette question fut évoquée dans un ouvrage qui parut à la fin du 17^e siècle et dont l'auteur était le philosophe français Bernard Le Bovier de Fontenelle, un neveu de Corneille. Le titre à lui seul, *Entretiens sur la Pluralité des Mondes*, fait déjà présumer que Fontenelle était convaincu que la Terre n'est pas l'unique endroit habité dans l'Univers ; d'après lui, toutes les planètes et leurs satellites étaient habitées par des êtres vivants, et il ne faisait exception que pour notre propre lune. La première édition du livre parut à Paris en 1686 (Fontenelle avait alors 29 ans) et connut un tel succès que l'ouvrage fut réimprimé plusieurs fois.

Il est remarquable que Mars, une planète qui deviendra plus tard la cible de toutes les spéculations à propos de la vie extraterrestre, n'est guère pris en considération dans l'ouvrage de Fontenelle. L'auteur trouve cette planète franchement peu intéressante, et préfère ne pas s'y arrêter longtemps :

« Mars n'a rien de curieux que je sache ; ses jours sont de plus d'une demi-heure plus longs que les nôtres, et ses années valent deux de nos années, à

LA DÉCOUVERTE DES SATELLITES DE MARS

un mois et demi près. Il est cinq fois plus petit que la Terre ; il voit le Soleil un peu moins grand et moins vif que nous ne le voyons : enfin Mars ne vaut pas trop la peine qu'on s'y arrête. »

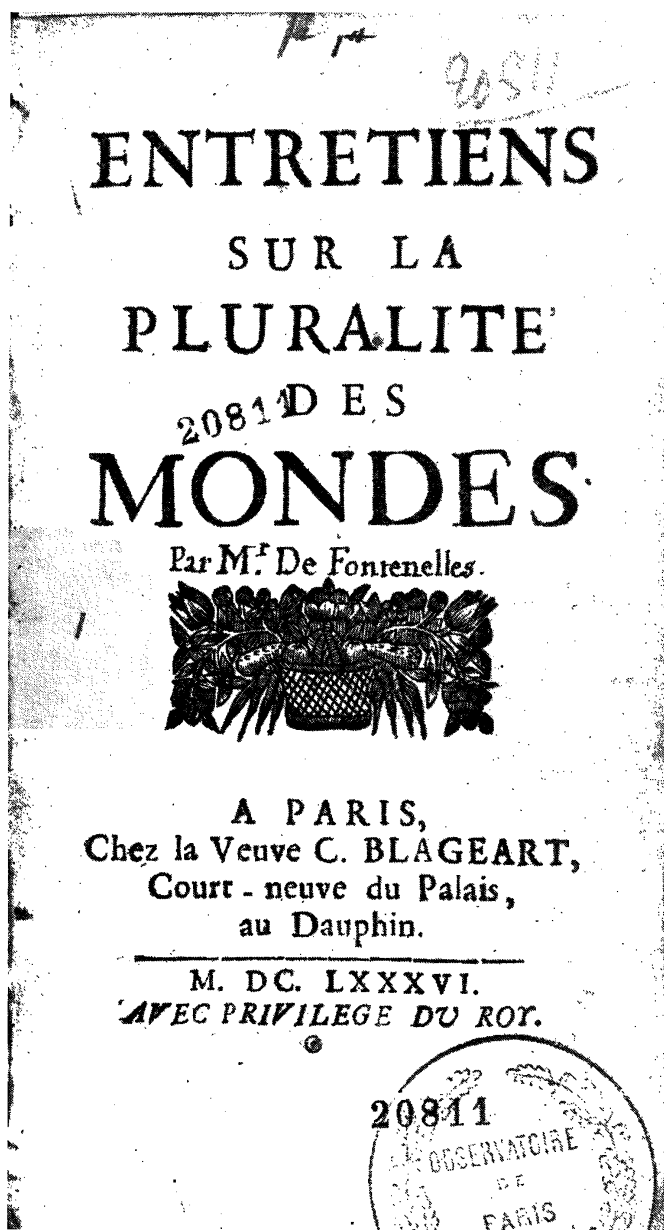


Fig. 120. — Cliché Observatoire de Paris.

(J. Counil)

Mais un peu plus tard il revient à Mars, notamment à propos de l'absence de satellites, ce qu'il déplora beaucoup à cause de la « logique » :

« En vérité, dit la marquise, de l'air d'une personne qui rentrait en elle-même avec étonnement, tout cela est d'un grand ordre ; il paraît bien que la nature a eu en vue les besoins de quelques êtres vivants, et que la distribution des lunes n'a pas été faite au hasard. Il n'en est tombé en partage qu'aux

planètes éloignées du Soleil, à la Terre, à Jupiter, à Saturne ; car ce n'était pas la peine d'en donner à Vénus et à Mercure, qui ne reçoivent que trop de lumière, dont les nuits sont fort courtes, et qui les comptent apparemment pour de plus grands bienfaits de la nature que leurs jours mêmes. Mais attendez ; il me semble que Mars, qui est encore plus éloigné du Soleil que la Terre, n'a point de lune. (...) mais puisque la nature a donné tant de lunes à Saturne et à Jupiter, c'est une marque qu'il faut des lunes. J'eusse été bien aise que tous les mondes éloignés du Soleil en eussent eu, si Mars ne nous fût point venu faire une exception désagréable. Ah ! vraiment, répliquai-je, si vous vous mêliez de philosophie plus que vous ne faites, il faudrait bien que vous vous accoutumassiez à voir des exceptions dans les meilleurs systèmes. Il y a toujours quelque chose qui y convient le plus juste du monde, et puis quelque chose aussi qu'on y fait convenir comme on peut, ou qu'on laisse là si on désespère d'en pouvoir venir à bout. Usons-en de même pour Mars, puisqu'il ne nous est point favorable, et ne parlons point de lui. »

Nous le savons donc. Le raisonnement est rigoureux : les satellites des planètes y sont pour servir les habitants de ces planètes ; ils leur donnent de la lumière lorsque le Soleil fait défaut. Et très logiquement il y a donc plus de lunes aux planètes situées à grande distance du Soleil qu'aux planètes rapprochées. Une règle complète avec une exception : Mars.

LE TROISIÈME VOYAGE DE GULLIVER

En 1726 l'écrivain anglais Jonathan Swift publia un livre intitulé *Travels into Several Remote Nations of the World*. Plus connues sous le titre de *Gulliver's Travels* (« Les Voyages de Gulliver »), les deux premières parties sont encore lues actuellement sous forme d'ouvrage pour la jeunesse.

C'était une satire violente, écrite en un style spirituel, mais aussi un captivant conte d'aventures et de voyages d'exploration, mêlés de fantaisies les plus bizarres. Le cerveau de l'auteur imagina les nains de Lilliput et les géants de Brobdingnag. Mais à un certain moment la fantaisie de Swift prend des allures de clairvoyance, comme il apparaît à un passage de la troisième partie.

Pendant son troisième voyage, Gulliver se trouve abandonné en mer sur un canot. Il se prépare à une mort lente, quand soudain apparaît une île flottant dans l'air. Les habitants l'aperçoivent, et il est hissé à bord. L'île s'appelle Laputa, et Gulliver apprend que ses habitants sont très doués pour la musique et les mathématiques. Ils sont préoccupés par les événements astronomiques et sont inquiets parce qu'ils ont découvert que la Terre finira par tomber sur le Soleil, qu'elle a évité de justesse une collision avec la queue d'une comète, que le Soleil s'éteindra, etc. Laissons maintenant parler Swift :

« They have made a Catalogue of ten Thousand fixed Stars, whereas the largest of ours do not contain above one third Part of that Number. They have likewise discovered two lesser Stars, or Satellites, which revolve about Mars ; whereof the innermost is distant from the Center of the primary Planet exactly three of his Diameters, and the outermost five ; the former revolves

LA DÉCOUVERTE DES SATELLITES DE MARS

in the Space of ten Hours, and the latter in Twenty-one and an Half ; so that the Squares of their periodical Times, are very near in the same Proportion with the Cubes of their Distances from the Center of Mars ; which evidently shews them to be governed by the same Law of Gravitation, that influences the other heavenly Bodies. »

Ainsi donc, non seulement ce texte prédit-il l'existence des deux petits satellites de Mars, mais encore voyons-nous avec stupéfaction l'auteur donner des caractéristiques orbitales qui ressemblent fort à celles des vrais satellites.

Puisque Swift mentionne la troisième loi de Kepler et l'applique, nous pouvons supposer qu'il était au courant des connaissances astronomiques de son époque. S'il a doté Mars de deux satellites, ce n'est donc vraisemblablement pas arbitrairement, mais plutôt sur la base d'une foi en une régularité dans le nombre des satellites des planètes. De Jupiter on ne connaissait encore que quatre satellites — ce nombre n'augmentera qu'à partir de la fin du 19^e siècle — de sorte que l'on pouvait obtenir une perfection mathématique en attribuant deux satellites à Mars, qui est situé entre la Terre et Jupiter. Ainsi que nous l'avons vu, Kepler était déjà pénétré par cette idée un siècle plus tôt. Considéré comme un géant de la pensée, il jouissait d'une grande autorité, et son opinion avait encore de fervents partisans dans les milieux cultivés.

Mais la prédiction des orbites des deux satellites était moins évidente. Par une inspiration curieuse, Swift plaça ses deux satellites martiens à une si faible distance de Mars, que leurs périodes de révolution étaient plus courtes que la période de rotation de la planète elle-même. Et pourtant, à l'époque de Swift on ne connaissait, dans tout le système solaire, aucun satellite ayant un si étrange comportement. Même actuellement on ne connaît aucun satellite naturel qui tourne plus rapidement autour de sa planète que celle-ci autour de son axe, excepté un seul : Phobos, le petit satellite intérieur de Mars (L'autre satellite, Deimos, a une période de révolution qui n'est que peu supérieure à la période de rotation de Mars).

Où Swift a-t-il trouvé l'inspiration pour une telle prédiction singulière et à peu près juste ? On a fait beaucoup de conjectures à ce propos, y compris l'absurde suggestion que Swift était en fait un Martien...

La période de révolution que Swift attribua au satellite intérieur est de 10 heures ; en fait la période de Phobos vaut 7,7 heures. Pour le satellite extérieur Swift donna 21,5 heures, alors que la période de Deimos est de 30,2 heures.

Mais en ce qui concerne les distances des satellites à la planète, Swift frappa moins juste. Il a adroitement fait en sorte que le rapport des cubes de ces distances soit égal au rapport des carrés des périodes de révolution, en accord avec la troisième loi de Képler. Mais ceci ne fixe que le rapport entre ces deux orbites, et non pas leurs dimensions réelles. Il faut pour cela disposer encore d'une autre relation entre les dimensions de l'orbite et la période de révolution du satellite. De la théorie générale de la gravitation, publiée par Newton en 1687, il résulte que la relation entre le demi-grand axe a de l'orbite

et la période de révolution T d'un satellite est déterminée par la masse M de la planète circonscrite, d'après la formule :

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{fM}{4\pi^2}$$

où $f = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{sec}^2\text{kg}$. Pour Mars, le premier membre de cette relation vaut $1,08 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{sec}^2$, ainsi qu'il résulte des valeurs correctes de a (en mètres) et de T (en secondes) pour Phobos (ou Deimos). On en déduit que la masse de Mars vaut $6,42 \times 10^{23} \text{ kg}$.

Mais à l'époque de Swift, la masse de Mars n'était pas connue, même pas d'une manière approchée (pas plus d'ailleurs que la valeur de la constante de gravitation f), de sorte qu'il lui manquait une base pour le choix des distances de « ses » satellites. Les valeurs finalement adoptées par Swift (3 et 5 fois le diamètre de Mars) correspondent à une masse de $1,00 \times 10^{25} \text{ kg}$ pour la planète, soit 1,7 fois la masse de la Terre, alors que la masse de Mars ne vaut que 0,11 fois celle de la Terre.

On peut toutefois supposer que Swift n'a pas agi de façon tout à fait arbitraire. Il s'est peut-être laissé mener, comme le fit remarquer K. Ludendorff, par le système des satellites de Jupiter, et a simplement adopté les distances des deux satellites intérieurs alors connus. Ce sont Io et Europe, dont les distances au centre de Jupiter valent respectivement 2,9 et 4,7 fois le diamètre équatorial de cette planète.

UNE PLAISANTERIE DE VOLTAIRE

Lorsqu'en 1734 Voltaire dut fuir Paris et s'installer dans le château de Madame du Châtelet, il se forma entre eux deux une solide liaison qui dura jusqu'à la mort de la marquise, seize ans plus tard. Gabrielle Émilie Le Tonnelier de Breteuil, marquise du Châtelet, était une femme passionnée, non seulement en amour mais dans toutes ses occupations. Elle était extrêmement intelligente et, en son château de Cirey, elle s'occupait de la traduction des *Principia* de Newton, elle écrivait sur Leibnitz et s'appliquait à l'étude de la physique et de l'astronomie. Le feu sacré gagna Voltaire, car c'est de cette époque que date son intérêt pour les choses scientifiques, un intérêt qui d'ailleurs s'évanouira après le décès de l'aimée. Mais entre-temps, il aura porté ses fruits littéraires.

C'est ainsi que, pendant cette époque, sortit de la plume de Voltaire le court récit *Micromégas*, une petite merveille de « science-fiction » pure. Mais il faudra attendre jusqu'en 1752 pour que *Micromégas* — d'après Voltaire lui-même « une ancienne plaisanterie » — soit publié... à Londres.

Le récit raconte les aventures de Micromégas, un habitant (haut de huit lieues) d'une planète de Sirius et qui fait un voyage dans l'Univers. Micromégas arrive à Saturne et y a une conversation avec le secrétaire de l'Académie de Saturne. Cet entretien dure une révolution de Saturne autour du Soleil, après quoi ils poursuivent le voyage à eux deux. Avant d'atteindre la Terre, où ils riront de bon cœur de « la stupidité et de l'orgueil des hommes », les deux voyageurs passent par Jupiter et Mars.

LA DÉCOUVERTE DES SATELLITES DE MARS

« En sortant de Jupiter, ils traversèrent un espace d'environ cent millions de lieues, et ils côtoyèrent la planète de Mars, qui, comme on sait, est cinq fois plus petite que notre petit globe ; ils virent deux lunes qui servent à cette planète, et qui ont échappé aux regards de nos astronomes. Je sais bien que le père Castel écrira, et même assez plaisamment, contre l'existence de ces deux lunes ; mais je m'en rapporte à ceux qui raisonnent par analogie. Ces bons philosophes-là savent combien il serait difficile que Mars, qui est si loin du Soleil, se passât à moins de deux lunes. »

Les voilà donc encore une fois remis à leur place, ces pédants obstinés, qui croient que le cosmos doit être construit selon leur goût à eux. Mais quelle surprise ! dans ce court texte nous rencontrons de nouveau la fameuse annonce de l'existence des deux petits satellites de Mars ; de nouveau ils sont mentionnés et commentés avant même leur découverte. Est-ce toujours ce même sentiment de régularité mathématique qui joue, régularité conçue en toute sincérité par Kepler et qui, sous forme d'inspiration littéraire, a laissé des traces jusqu'à Swift et peut-être encore plus loin jusqu'au railleur Voltaire ? Ou bien tout cela n'est-il qu'une coïncidence accidentelle ?

DES SPÉCULATIONS AUX RECHERCHES

Johann Daniel Titius, professeur de mathématiques à Wittenberg, fut l'un de ceux qui étaient persuadés de l'existence de satellites martiens. En 1772 parut la deuxième édition de la traduction allemande par Titius du livre *Contemplation de la Nature* de l'auteur suisse Charles Bonnet. Le traducteur ajouta au texte une note dans laquelle il établit un rapport entre les distances des planètes au Soleil et une progression géométrique simple, la célèbre loi empirique connue maintenant sous le nom de Titius-Bode.

Comme on sait, la loi ne s'applique qu'imparfaitement. L'un des nombres de la série ne correspond à aucune planète, mais au contraire à la lacune entre Mars et Jupiter (Plus tard, des milliers d'astéroïdes seront découverts dans cette région). Titius ne vit, dans l'échec partiel de sa loi, aucune raison de la rejeter. Au contraire, spéculant sur la cause de l'échec, il mit celui-ci en rapport avec d'éventuels satellites de Mars. « Admettons, écrit-il dans la fameuse note, que cet espace appartient sans aucun doute aux satellites non encore découverts de Mars. »

Outre une foi inébranlable en l'existence de ces satellites, il faut faire assurément une fameuse gymnastique intellectuelle pour arriver à cette idée ! (La Terre et Jupiter ont des satellites, et pourtant la règle de Titius-Bode n'indique aucune lacune entre la Terre et Mars, ni entre Jupiter et Saturne). En 1772 parut également la deuxième édition du livre de Johann Elert Bode, *Anleitung zur Kenntniss des gestirnten Himmels*. Dans cet ouvrage nous rencontrons presque exactement les mêmes mots que dans le texte précité de Titius, avec cette différence que Bode ne fait pas appel à d'imaginaires satellites de Mars pour expliquer la lacune ; il remarque simplement qu'il manque une planète.

Que ce soit dans l'interprétation donnée par Titius, ou dans celle de

G. BODIFÉE

Bode, la loi de Titius-Bode affermit encore chez certains l'opinion que Mars devait posséder des satellites. S'il manquait tout de même une planète entre Mars et Jupiter, alors deux satellites serait un nombre idéal pour Mars. Car en attribuant trois satellites à la planète manquante, on obtiendrait la suite « parfaite » suivante :

Vénus :	0 satellite
Terre :	1 satellite
Mars :	2 satellites
planète manquante :	3 satellites
Jupiter :	4 satellites
Saturne :	5 satellites

Quel dommage, dès lors, qu'en 1789 W. Herschel découvrit encore deux satellites à Saturne...

Il va de soi que l'on chercha assidûment les satellites martiens au télescope. Au cours de l'opposition favorable de 1783, William Herschel utilisa ses grands réflecteurs pour apercevoir ces satellites, mais il n'obtint aucun résultat positif. Cet échec persuada beaucoup d'astronomes de l'inexistence de satellites de Mars.

On continua toutefois à chercher au cours du 19^e siècle. En 1830, à Berlin, Mädler fit des recherches systématiques ; mais l'instrument utilisé, un réfracteur de 95 mm d'ouverture, n'était pas assez puissant pour lui donner une chance de succès. Des recherches méticuleuses furent entreprises par H. L. d'Arrest, à l'Observatoire de Copenhague, en 1862 et en 1864. Cet astronome utilisa un réfracteur de 25 cm, mais il n'eut pas plus de succès que ses prédécesseurs. Des observations de d'Arrest, on pouvait déduire avec certitude qu'autour de Mars, et jusqu'à une distance de 20 diamètres de la planète, ne circulait aucun satellite plus brillant que la magnitude 12, sauf si un tel satellite se trouvait très près de la planète, l'éclat de celle-ci rendant alors l'observation difficile.

LA DÉCOUVERTE

Dans le Nouveau Monde également, on chercha les éventuels satellites de Mars, et certes pas avec de modestes moyens. Un réfracteur de 66 cm d'ouverture, le plus grand du monde, avait été mis en service en novembre 1873 à l'U.S. Naval Observatory de Washington. Son objectif avait été taillé par le célèbre Alvan Clark et ses deux fils ⁽¹⁾. Cette lunette était destinée principalement à l'observation des satellites des diverses planètes, quoiqu'elle permît également de nombreuses études sur les étoiles doubles et les nébuleuses. Le 16 juin 1875, Asaph Hall devint le responsable de la lunette de 66 cm, comme successeur de S. Newcomb.

Au printemps de 1877, il projeta de profiter de la prochaine opposition de Mars pour rechercher d'éventuels satellites à la planète, à l'aide du grand réfracteur, une lunette dont non seulement les dimensions mais également les qualités s'étaient révélées impressionnantes, surtout à la suite d'une

⁽¹⁾ Après plus de cent ans de service, ce magnifique instrument est encore utilisé de nos jours. Mais, depuis 1878, il n'est plus le plus grand réfracteur du monde.

LA DÉCOUVERTE DES SATELLITES DE MARS

révision par Clark en avril et mai 1876, au cours de laquelle la lentille de flint de l'objectif fut repolie. L'initiative de Hall ouvrit de nouvelles perspectives et surtout arriva au moment propice, car l'opposition de septembre 1877 était extrêmement favorable. Mars s'approcha jusqu'à 56,4 millions de kilomètres de la Terre, le plus fort rapprochement du 19^e siècle après celui de 1845. L'opposition de Mars de 1877 allait entrer d'ailleurs dans l'Histoire de l'Astronomie pour plus d'une raison : c'est également lors de cette opposition que Schiaparelli dessina pour la première fois sa célèbre carte de Mars sur laquelle figuraient les fameux *canali*, le début d'un romantisme martien qui ne devait jamais disparaître complètement.

Hall commença ses recherches au début d'août. Il scruta systématiquement le voisinage de Mars, prenant soin de ne pas être aveuglé par le disque brillant de la planète en le plaçant tout juste à l'extérieur du champ de la lunette.

Les premières nuits restèrent infructueuses, et il semblait que les efforts de Hall ne connaîtraient pas plus de succès que ceux de ses devanciers. Déçu, il voulut cesser ses recherches le 11 août, mais sa femme Angelina, qui était en même temps sa secrétaire, aurait insisté pour qu'il essayât « encore une nuit ». Hall se rendit donc une fois de plus à la lunette, et trois heures plus tard il apercevait un faible point lumineux situé 70", 6 à l'est de la planète. Il était, à cet instant, 14 h 40 m temps moyen de Washington le 11 août, soit 2 h 40 m temps civil de Washington le 12 août, ou encore le 12 août à 7 h 50 m Temps Universel (1).

Le petit point vu par Hall était la première observation jamais faite d'un des satellites de Mars (Deimos) ! Mais à ce moment-là Hall n'avait encore aucune certitude, et cette certitude n'allait pas venir immédiatement : un épais brouillard, provenant de la rivière Potomac, empêcha toute autre observation. Les nuits suivantes le ciel resta couvert, et pendant cinq jours il ne fut pas possible d'observer. Le ciel s'éclaircit enfin au cours de la nuit du 16 au 17 août, et Hall put reprendre ses observations. Il aperçut de nouveau le petit point lumineux (le 17 août à 4 h 50 m TU) et put le suivre pendant deux heures. L'objet était de magnitude 13, et Hall constata qu'il se déplaçait avec Mars : en deux heures la planète s'était déplacée de 30" par rapport aux étoiles ; mais le petit point de 3" seulement par rapport à elle. Ce n'était donc certainement pas une étoile. On ne pouvait toutefois pas exclure la possibilité qu'il s'agissait d'une petite planète ou d'une nouvelle comète qui se serait trouvée par hasard près de Mars sur le ciel. Après consultation des éphémérides, il apparut que la petite planète 52 Europa se trouvait justement à ce moment à proximité de Mars.

Il fallait attendre la nuit suivante pour avoir une certitude à ce propos. Si l'objet était un satellite il allait être, d'après un calcul approché, occulté par la planète pendant quelques heures, tandis qu'Europa se trouverait au sud-est de Mars.

(1) Le temps moyen, en usage en Astronomie avant 1925, retarde de 12 heures sur le temps civil. La découverte de Hall date donc du 12 août 1877, et non du 11 comme on l'écrit généralement.

G. BODIFÉE

Cette fameuse nuit le ciel était serein et la lunette fut de nouveau dirigée vers Mars ; aucun satellite n'était visible, ce qui était bon signe. Mais vers



Fig. 121. — Phobos photographié par Viking 1, le 25 juillet 1976.

Cette photographie, la première obtenue au cours du vol Viking 1, représente une portion de la surface fortement marquée de cratères qui n'avait pas été photographiée par Mariner 9. Le plus grand cratère visible atteint environ 5 kilomètres tandis qu'on en distingue ne dépassant pas quelques centaines de mètres. Vu sous cet angle, le diamètre de Phobos est de 22 kilomètres et c'est seulement la moitié de sa surface qui est illuminée, face à l'appareil de prise de vues.

(Photographie USIS)

LA DÉCOUVERTE DES SATELLITES DE MARS

quatre heures du matin (le 18 août à 9 h TU) Hall vit de nouveau le petit point lumineux : c'était donc bien un satellite de Mars qu'il suivait !

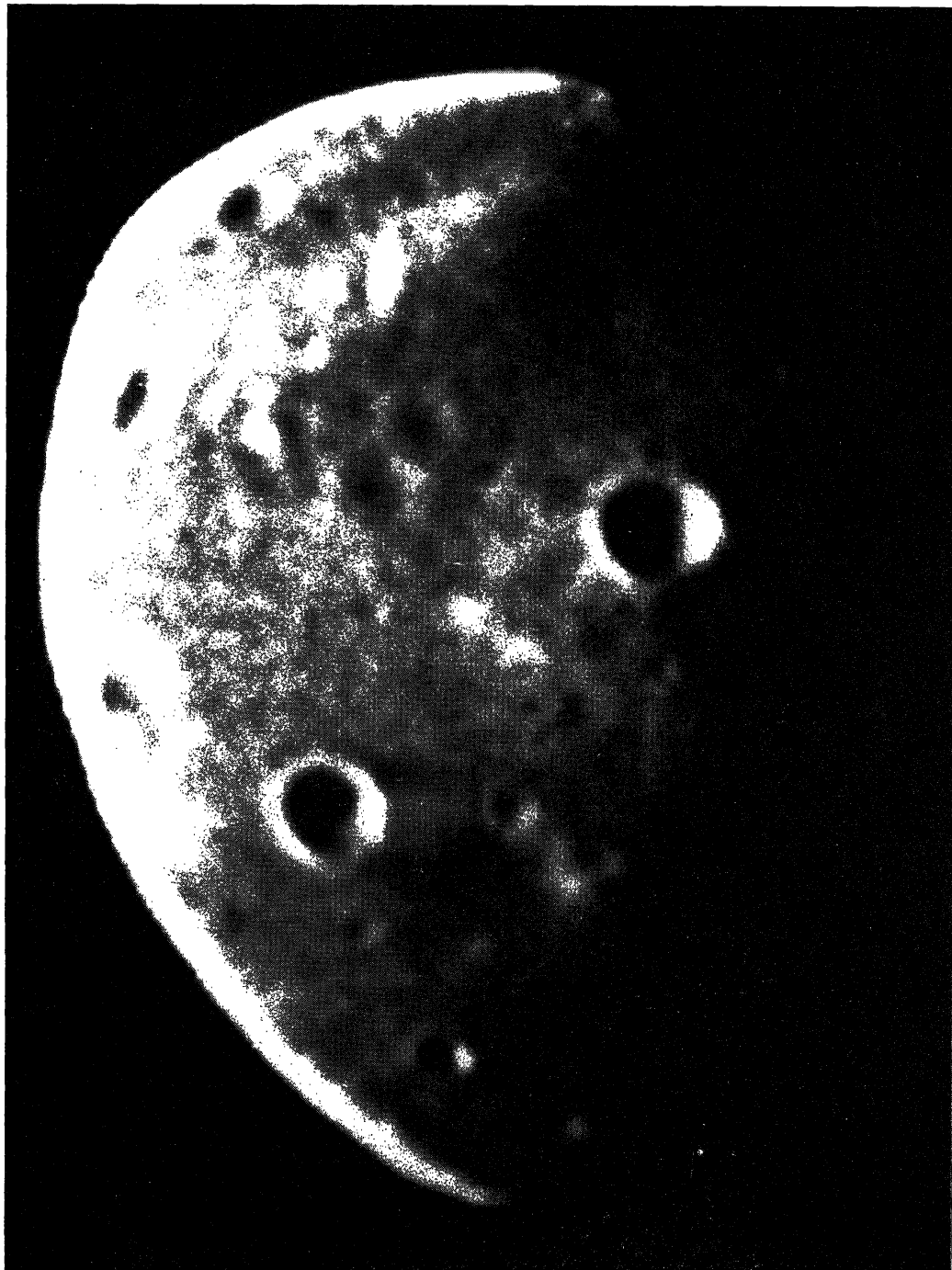


Fig. 122. — Pleins feux sur Deimos.

La partie éclairée du plus petit des deux satellites de Mars, mesure seulement 12 kilomètres sur 8 sur cette photographie prise au cours du vol de Viking 1, alors que la sonde se trouvait à 3 300 kilomètres et révèle une surface profondément marquée de cratères et sans doute très « âgée ». Les deux cratères les plus apparents ont des diamètres de 1,3 et 1 kilomètre, tandis qu'on en aperçoit également ne dépassant pas 100 mètres. C'est environ la moitié de la surface qui est illuminée, face à l'appareil de prise de vues.

(Photographie USIS)

Mais presque simultanément il vit un second petit point lumineux, situé plus près de Mars que le premier et encore plus difficile à voir. La distance à la planète n'était que de 30", 8.

Après le lever du jour la découverte fut communiquée télégraphiquement à Alvan Clark et ses fils à Cambridgeport, dans le Massachusetts. Ceux-ci disposaient, en effet, à ce moment-là, d'un réfracteur aussi grand que celui du Naval Observatory. C'était un instrument également construit par les Clark ; il avait été commandé par Leander J. McCormick, mais attendait encore son achèvement définitif. Il était dans l'intention de Hall d'obtenir confirmation de l'existence des satellites à l'aide de cet autre réfracteur de 66 cm pour le cas où il y aurait des nuages sur Washington.

Mais la nuit suivante (18 août, temps moyen de Washington ; 19 août, TU) le ciel n'était pas couvert à Washington et les observations furent poursuivies. Le satellite extérieur fut de nouveau aperçu, cette fois au bord ouest de la planète, et sa position fut mesurée plusieurs fois avec précision. L'objet fut également observé par Newcomb et Harkness. Le satellite intérieur, lui aussi, fut revu et mesuré par Hall. Tout doute à propos de la vraie nature de ces objets était à présent dissipé.

Le jour suivant, la découverte fut communiquée au Smithsonian Institute qui transmet la nouvelle aux observatoires américains et européens, en ces termes :

« Two satellites of Mars discovered by Hall, at Washington. First, elongation west, August 18, eleven hours, Washington time. Distance eighty seconds. Period, thirty hours. Distance of second, fifty seconds. »

Cette dernière valeur était toutefois erronée, la distance du second satellite à Mars étant de 30 secondes de degré seulement, et non de 50.

Pendant quelques jours le satellite intérieur causa de l'embarras. Parfois, au cours d'une même nuit, on le voyait aux deux côtés opposés de la planète. C'est pourquoi Hall crut un moment avoir affaire à deux ou trois satellites intérieurs, car il lui semblait improbable qu'un satellite puisse se mouvoir si rapidement autour de la planète, plus rapidement même que la rotation de celle-ci autour de son axe. Pour éclaircir la question, Hall décida de suivre attentivement le déplacement du satellite intérieur au cours des nuits des 20-21 et 21-22 août.

Ces nouvelles observations lui montrèrent qu'il n'existe en réalité qu'un seul satellite intérieur, et que celui-ci tourne autour de Mars en une période valant moins d'un tiers de la période de rotation de la planète. Un observateur à la surface de Mars verrait donc ce satellite se lever à l'ouest et se coucher à l'est. Hall constata en outre que le plan orbital du satellite intérieur coïncide exactement avec celui du satellite extérieur.

A partir des observations effectuées par Hall jusqu'à la nuit du 20 au 21 août, Newcomb calcula des éléments orbitaux provisoires. Il obtint pour les périodes de révolution respectivement 30 heures 14 minutes (± 2 minutes) et 7 heures 38,5 minutes ($\pm 0,5$ minute). Les éléments orbitaux permirent à Newcomb de calculer la masse de Mars ; il obtint $1/3\ 090\ 000$ de la masse du Soleil. En 1878, à partir d'éléments orbitaux améliorés des deux satellites, Hall obtint la valeur de $1/3\ 093\ 550 \pm 5\ 000$.

LA DÉCOUVERTE DES SATELLITES DE MARS

On posséda ainsi brusquement, pour la masse de la planète, une valeur beaucoup plus précise que toutes les déterminations antérieures, qui reposaient sur les perturbations exercées par Mars sur les mouvements de la Terre et de Jupiter. Ces valeurs anciennes s'étalaient de $1/2\,546\,320$ masse solaire (Delambre, 1802, valeur adoptée par Laplace) à $1/3\,734\,602$ (Airy, 1828).

On peut juger de la précision de la valeur que Newcomb put obtenir si rapidement grâce aux satellites nouvellement découverts, en la comparant à la valeur actuellement adoptée, qui est de $1/3\,098\,710$ fois la masse du Soleil (UAI 1976).

PHOBOS ET DEIMOS

Au Naval Observatory, Asaph Hall continua ses observations des deux petits satellites martiens pendant plusieurs semaines. Entre temps, ces objets furent aperçus par d'autres observateurs, souvent même à l'aide d'instruments plus petits.

Après avoir reçu le télégramme de Hall, les Clark réussirent également à voir les deux satellites depuis Cambridgeport. H. S. Pritchett, assistant au Morrison Observatory à Glasgow, dans le Missouri, vit le satellite extérieur pour la première fois le 29 août, le satellite intérieur le 8 septembre, et il

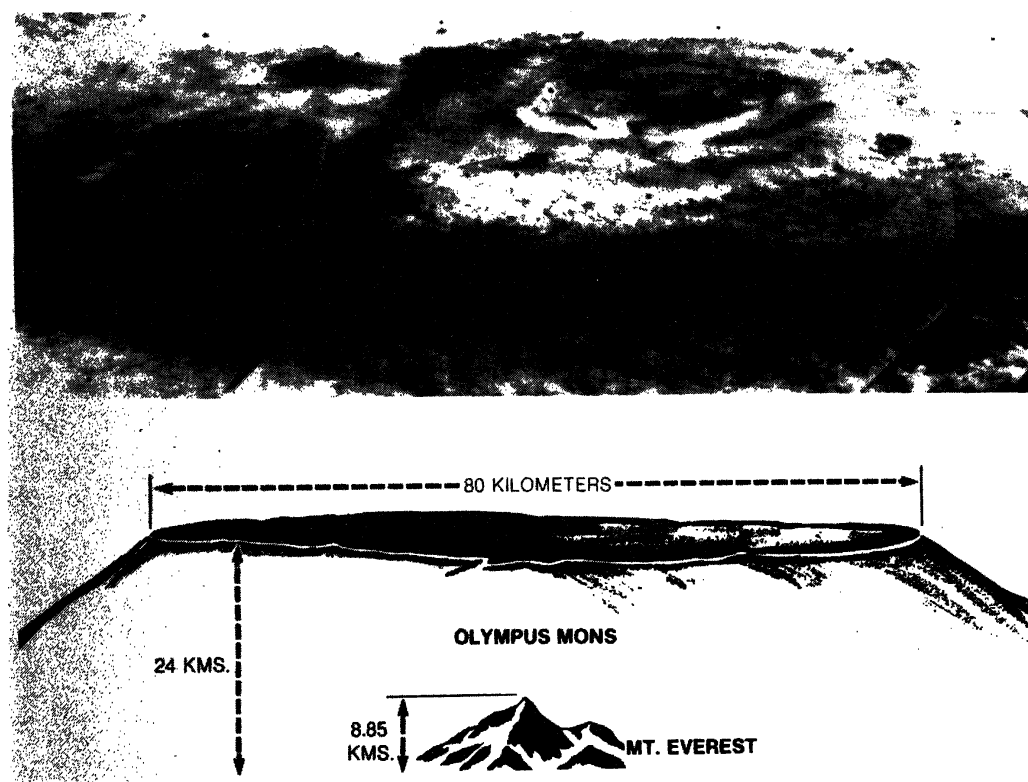


Fig. 123. — Mars.

Olympus Mons est près de trois fois plus élevé que le Mont Everest, comme le montre la comparaison de la partie inférieure de la figure. La partie supérieure est une vue, prise par Viking 1, du plus grand volcan martien.

(Photographie USIS)

suivit les deux objets pendant plusieurs semaines. L'instrument utilisé par Pritchett était un réfracteur de 31 cm d'ouverture. Le satellite extérieur fut aperçu également le 29 août à l'observatoire de Harvard College, à Cambridge (Mass.), et le satellite intérieur le 4 septembre ; Leonard Waldo les y observa à l'aide de la lunette de 38 cm, respectivement jusqu'au 5 octobre et au 23 septembre.

C'est au découvreur d'un astre que revient le droit de choisir un nom pour sa trouvaille. Hall ne se dépêcha pas pour profiter de ce privilège. Ce n'est que le 7 février 1878 qu'il fit connaître sa proposition. « Puisque le besoin de baptiser les satellites de Mars ne se fait guère sentir, j'ai attendu avant de choisir », écrit-il, « mais pour éviter toute confusion j'ai choisi les noms suivants :

Deimos pour le satellite extérieur,
Phobos pour le satellite intérieur.

Hall choisit ces noms, proposés par M. Madan, de Eton (Angleterre), parmi de nombreux autres qui lui furent suggérés. Ces noms sont extraits de l'*Iliade* de Homère, Livre XV, lignes 117 et 118, où Arès (le dieu grec de la Guerre, appelé Mars chez les Romains) se prépare à descendre sur la Terre pour venger la mort de son fils. Phobos (fuite, crainte, terreur) et Deimos (peur, panique) étaient les écuyers qui attelaient les chevaux du dieu guerrier :

και ρ ιππους κελετο Δειμον τε Φοβον τε ζευγνυμεν.

(Il ordonne à Panique et à Terreur d'atteler ses coursiers.)

CENT ANS PLUS TARD

En raison de leurs faibles dimensions, Phobos et Deimos ne peuvent être vus, depuis la Terre, autrement que comme de faibles points lumineux. Même dans les conditions les plus favorables, il n'est pas question d'apercevoir des détails à leur surface, ni même de voir un petit disque. Presque toutes les observations de ces satellites, faites de la Terre depuis 1877, aussi bien visuellement que photographiquement, se sont plutôt concentrées sur le problème de l'amélioration des éléments orbitaux, que sur l'obtention d'informations sur leur nature physique.

Concernant le véritable aspect de ces deux lunes, on ne pouvait émettre que des conjectures. Leur diamètre d'une dizaine de kilomètres (déduit de l'éclat apparent, de la distance connue et d'une valeur plausible pour l'albedo) permettait bien de les classer dans la même catégorie de corps célestes que les petites planètes, mais ceci n'apportait guère plus de renseignements, puisque l'on ne sait que peu de choses sur la nature physique et chimique des astéroïdes (La situation change radicalement depuis quelques années, grâce aux observations spectrophotométriques et polarimétriques).

Une fois découverts, les satellites de Mars restèrent aussi intrigants que lorsqu'ils n'étaient encore qu'une supposition. L'astrophysicien soviétique I. S. Shklovskii imagine même, en 1959, que Phobos, et éventuellement aussi Deimos, pourraient être d'énormes satellites artificiels lancés par une civilisation martienne très développée. Cette idée peu banale provenait

LA DÉCOUVERTE DES SATELLITES DE MARS

d'une tentative pour expliquer la faible accélération séculaire du mouvement de Phobos. Cette accélération avait été annoncée en 1945 par B. P. Sharpless, un astronome américain travaillant au Naval Observatory, là même où Hall s'est rendu célèbre. Une accélération continue, non périodique, du mouvement de Phobos signifierait que ce satellite se rapproche lentement de Mars. D'après la valeur obtenue par Sharpless, Phobos devrait se précipiter sur la planète dans moins de cent millions d'années. Pour Deimos, aucune accélération sensible ne fut détectée.

Or le calcul montra que le phénomène ne pouvait être expliqué par aucune cause concevable : ni le frottement du satellite dans les couches supérieures de l'atmosphère martienne, ni l'accélération de la rotation de Mars due aux marées, ni une accélération électromagnétique, ni la pression de radiation ou les perturbations dues aux autres corps célestes. Mais Shklovskii calcula que la haute atmosphère de Mars serait capable de freiner suffisamment Phobos en attribuant à ce satellite une densité de 0,00001 seulement (celle de l'eau étant 1). Mais aucun corps solide et plein n'a une si faible densité, et donc Phobos devait être creux. Aucun corps céleste naturel ne peut être creux, et donc — raisonna Shklovskii — Phobos est un satellite artificiel, une grande station spatiale.

L'écrivain soviétique F. Zigel se demanda même pourquoi les satellites de Mars n'avaient pas été découverts plus tôt. Pourquoi Herschel ne les a-t-il pas vus à l'aide de ses télescopes géants au cours de l'opposition favorable de 1783 ? Pourquoi d'Arrest ne put-il les découvrir en 1862, lorsque Mars se trouvait également proche de son périhélie au moment de l'opposition ? Plus tard, les deux petites lunes furent aperçues à l'aide d'instruments plus petits que celui de d'Arrest. Zigel en déduisit que Phobos et Deimos furent lancés entre 1862 et 1877...

Les observations et les analyses ultérieures ont toutefois sérieusement mis en doute l'existence de la fameuse accélération de Phobos, tandis que la véritable nature des deux petits satellites n'est plus un secret maintenant. La véritable découverte de la nature de Phobos et Deimos a finalement exigé que l'on aille voir sur place...

C'est en juillet et août 1969, lors du passage des engins spatiaux américains Mariner 6 et 7 au voisinage de Mars, qu'un satellite de cette planète fut pour la première fois photographié de près. Les caméras commencèrent à photographier la planète alors que les deux sondes en étaient encore fort éloignées. Pendant la prise de ces vues « far-encounter », Phobos et Deimos passaient devant la planète ; B. A. Smith, l'un des chercheurs du projet Mariner, trouva plus tard, sur les photographies, Phobos se projetant sous la forme d'un petit point noir sur le disque brillant de Mars. La meilleure de ces photos (7F91 de Mariner 7) montre Phobos sous l'aspect d'une petite silhouette sombre sur le fond clair de la région Aeria, un peu à l'ouest de Syrtis Major. L'image de Phobos ne représente que quelques points sur la trame du cliché (pixels), de sorte qu'il ne peut être question d'y voir des détails à sa surface ; pourtant cette image montre clairement que le petit satellite n'est pas parfaitement rond, mais de forme irrégulière. Il apparut

en outre que Phobos était plus gros que prévu ; on trouva des dimensions de 18 sur 23 kilomètres, l'albedo n'étant que de 0,065 seulement, la valeur la plus faible dans le système solaire pour un satellite. (Plusieurs astéroïdes carbonés un ont albedo encore plus faible.)

Mais tout ne commença réellement qu'avec l'arrivée de Mariner 9 à proximité de Mars, à la fin de 1971. Cette sonde spatiale, nous fournit les premières vues vraiment détaillées de Phobos et de Deimos. Mariner 9, qui devint le premier satellite artificiel de Mars, avait pour mission principale une étude détaillée de toute la surface de la planète et de son atmosphère pendant les mois qui suivirent sa mise en orbite autour de Mars. A l'origine il n'entrait pas dans l'intention des responsables du programme de diriger les caméras de télévision également vers Phobos et Deimos. Mais sur les instances du Dr. Sagan, et à peine deux mois avant l'arrivée de l'engin près de Mars, un groupe de travail fut constitué sous la direction du Dr. J. Pollack pour s'occuper de l'étude des deux satellites à l'aide de Mariner 9.

Lorsqu'au terme d'un voyage de cinq mois et demi la sonde Mariner arriva près de Mars, une gigantesque tempête faisait rage sur toute la planète ; elle soulevait tellement de poussière que la surface de Mars resta cachée à la vue pendant plusieurs semaines. Les caméras ne pouvant pas observer grand-chose sur Mars, on profita de l'occasion pour faire des investigations détaillées sur Phobos et Deimos. La première image de Phobos fut prise au cours de la 31^e révolution de Mariner 9 autour de la planète ; elle fut reçue sur Terre le 30 novembre 1971. Au total, Mariner 9 a pris 32 photos à grande résolution de Phobos, et 9 de Deimos, à des distances variant entre 5 700 et 17 000 kilomètres. L'orbite de l'engin spatial étant située complètement à l'intérieur de celle de Deimos, seule la face de ce satellite tournée vers Mars put être photographiée.

Après un traitement par ordinateur pour éliminer les signaux parasites et améliorer l'intensité et le contraste des images, celles-ci apparurent d'excellente qualité. C'était un spectacle excitant : Phobos et Deimos se présentaient comme d'énormes rochers, rugueux, sauvages et lugubres, parsemés de cratères, de creux et de crevasses, montrant des jeux d'ombres capricieux, le tout affreusement privé de vie. Celui qui jusqu'au dernier moment s'attendait à contempler la brillante coque métallique d'une station orbitale martienne, a dû être profondément ébranlé...

La totalité des images a montré environ 70 % de la surface de Phobos et 40 % de celle de Deimos. Voici quelques constatations qui ont pu être faites sur la base des clichés obtenus par Mariner 9 :

— les deux satellites tournent autour de Mars en lui présentant toujours la même face ;

— les deux satellites sont de forme irrégulière. En première approximation ils ont la forme d'ellipsoïdes triaxiaux de dimensions suivantes : diamètres de Phobos : $27 \times 21 \times 19$ km ; diamètres de Deimos : $15 \times 12 \times 11$ km ;

— les surfaces de Phobos et de Deimos sont parsemées d'un grand nombre de cratères, qui ne peuvent avoir été formés que par des impacts météoriques ;

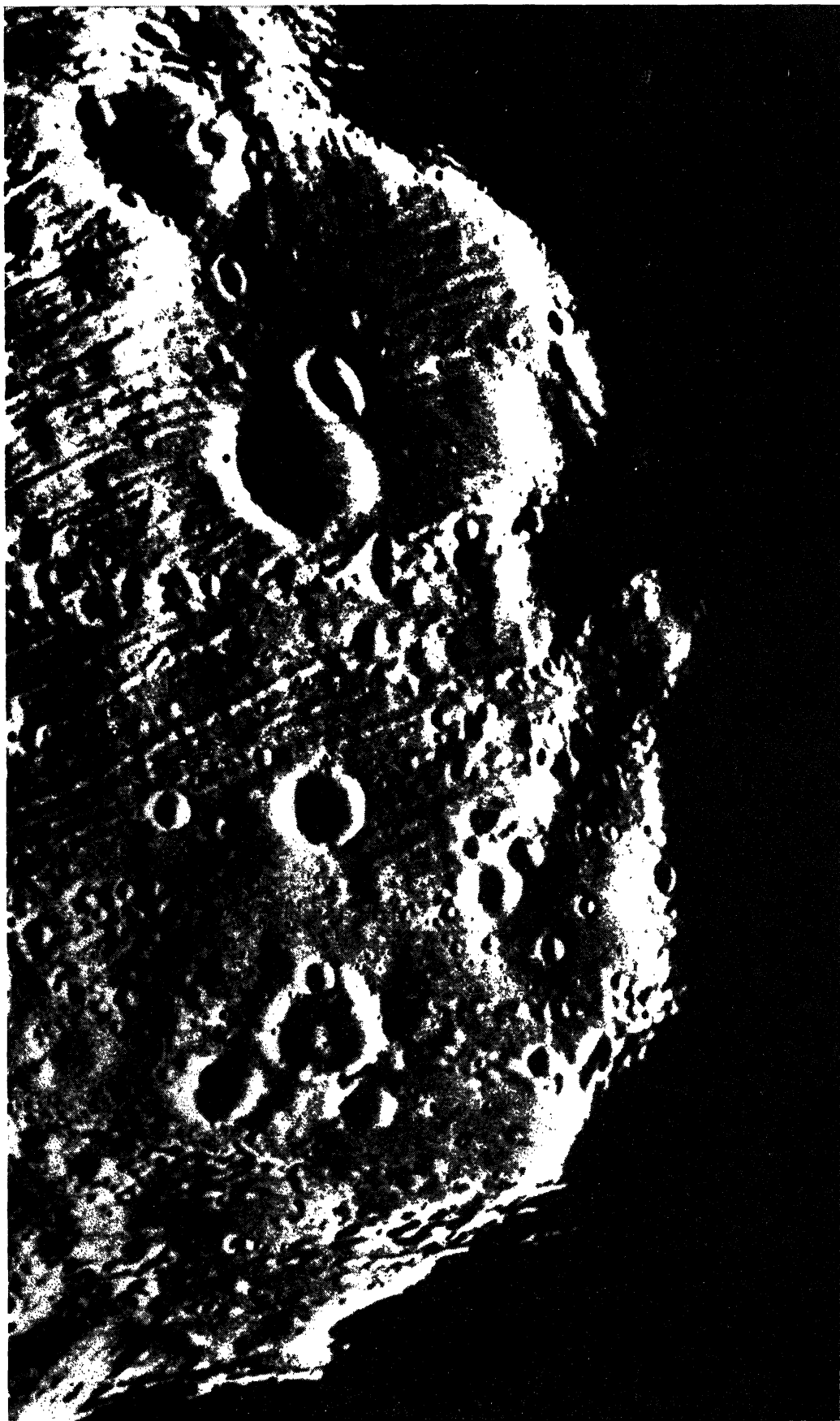


Fig. 124. — Pleins feux sur Phobos.

Cette photographie, a été prise au cours du vol de Viking 2. Ce petit objet, de forme ovale, avait été photographié antérieurement à de nombreuses reprises mais jamais d'aussi près (800 kilomètres seulement) et avec une aussi fine résolution. Ses structures les plus fines décelées sont de l'ordre de 40 mètres. La surface visible, qui représente à peu près la moitié de celle du satellite, mesure environ 9 kilomètres sur 18.

(Photographie USIS)

— sur Phobos le cratère le plus grand a un diamètre de 8 kilomètres ($1/3$ de la grande dimension du satellite lui-même !). Des fractures relativement importantes apparaissent çà et là. Les dénivellations dues au relief peuvent atteindre jusqu'à 20 % du rayon de l'astre.

Les Viking Orbiter 1 et 2, en orbite autour de Mars depuis l'été 1976, continuent maintenant l'étude de Phobos et de Deimos. Les deux engins ont déjà pris des photographies encore beaucoup plus détaillées.

Les images de Phobos obtenues par Mariner 9 ont permis de dresser une carte topographique de ce satellite. C'est ainsi que parut en 1974 dans *Icarus*, une revue américaine sur les études planétaires, la première carte de Phobos, construite par C. Duxbury, du Jet Propulsion Laboratory en Californie. Les détails topographiques du satellite furent inscrits dans un réseau de coordonnées adéquat, dont le méridien zéro passe par le centre de la face de Phobos tournée vers Mars.

Les formations les plus importantes sur Phobos ont reçu des noms. Et où aurait-on pu en trouver de meilleurs que dans l'histoire de la découverte des deux petits satellites ? C'est ainsi que le cratère de 8 km, situé à l'équateur de Phobos et non loin du point sub-martien, a été baptisé *Stickney*, d'après Angelina Stickney, le nom de jeune fille de l'épouse de Hall, sans l'encouragement de laquelle l'astronome américain aurait probablement renoncé à poursuivre ses recherches le 11 août 1877. Le nom de *Hall* lui-même a été donné à un grand cratère situé près du pôle Sud de Phobos. Sur le petit satellite nous retrouvons également les noms de *d'Arrest* et de *Sharpless*. On n'a pas oublié non plus *Roche*, l'expert français en dynamique de satellites, ni des observateurs méritants tels que *Todd* et *Wendell*. Au sud de *Stickney* s'étend vers l'est une longue crête, qui a reçu le nom de *Kepler*, avec qui toute cette histoire a commencé.

L'auteur tient à remercier M. Jean Meeus, qui a traduit cet article du néerlandais, ainsi que M. M.-A. Combes pour ses critiques et remarques, qui contribuèrent à la réalisation du texte.

BIBLIOGRAPHIE

- KOESTLER A., *Les sonnambules* (1959).
 FONTENELLE, *Entretiens sur la Pluralité des Mondes* (1686), réédité par Marabout Université (1973).
 SWIFT J., *Les voyages de Gulliver* (1726), réédité par Airmont Classic (1963).
 VOLTAIRE, *Micromégas* (1752), nouvelle édition sous le titre de *Zadig, Micromégas et Autres Contes*, Librairie Armand Colin (Paris, 1961).
 FLAMMARION C., *La Planète Mars*, Tome I (Paris, 1892).
Astronomische Nachrichten, 2148, 189 (1877) ; 2151, 239 (1877) ; 2154, 273-276 (1877) ; 2159, 361-362 (1877) ; 2161, 11-14 (1878) ; 2172, 185-188 (1878) ; 2187, 47 (1878) ; 2190, 87-94 (1878).
 SANDNER W., *Satellites of the Solar System* (London, 1965).
 RHYNSBURGER R. W., *A Historic Refractor's rooth Anniversary*, Sky and Telescope, Vol. 46, 208-214 (1973).
 GLASSTONE S., *The Book of Mars* (Washington D. C., 1968).
 SHKLOVSKII I. S., SAGAN C., *Intelligent Life in the Universe* (San Francisco, 1966).
 SAGAN C., *The Cosmic Connection* (New York, 1973).
 VEVERKA J. e. a., *A Mariner 9 Atlas of the moons of Mars*, *Icarus*, Vol. 23, 206-289 (1974).