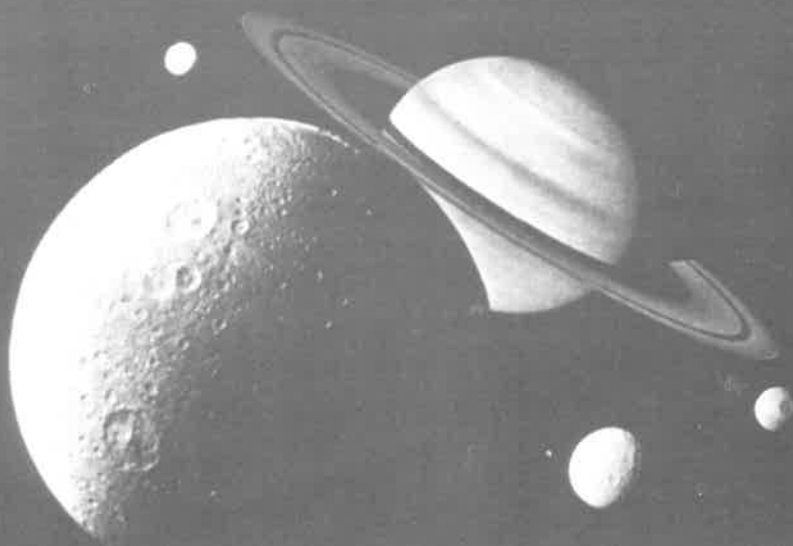


SOCIÉTÉ

ASTRONOMIQUE

DE LYON



QUE SAVONS-NOUS DU SYSTEME SOLAIRE EN 1983 ?

REVUE TRIMESTRIELLE

Hors série n° 3 — 1983

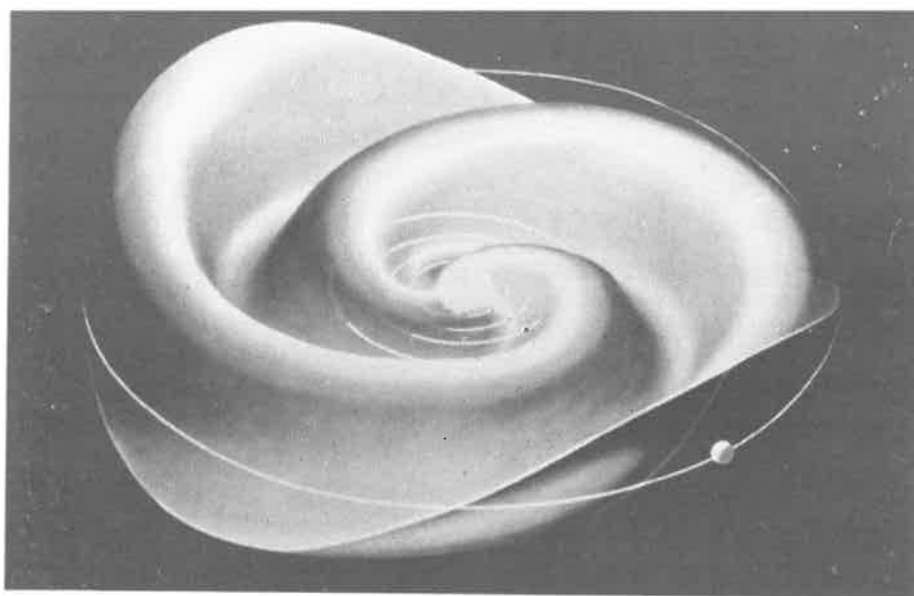


Fig. 3 - Maquette représentant la structure du vent solaire de Mercure à Jupiter. La densité, la vitesse et l'intensité magnétique du vent solaire sont maintenant mesurées jusqu'à l'orbite de Saturne, à l'aide des sondes Voyager 1 et 2.  
 (Fig. extraite de l'article de J. Lemaire, *Ciel et Terre*, 1981, 97, p. 209).

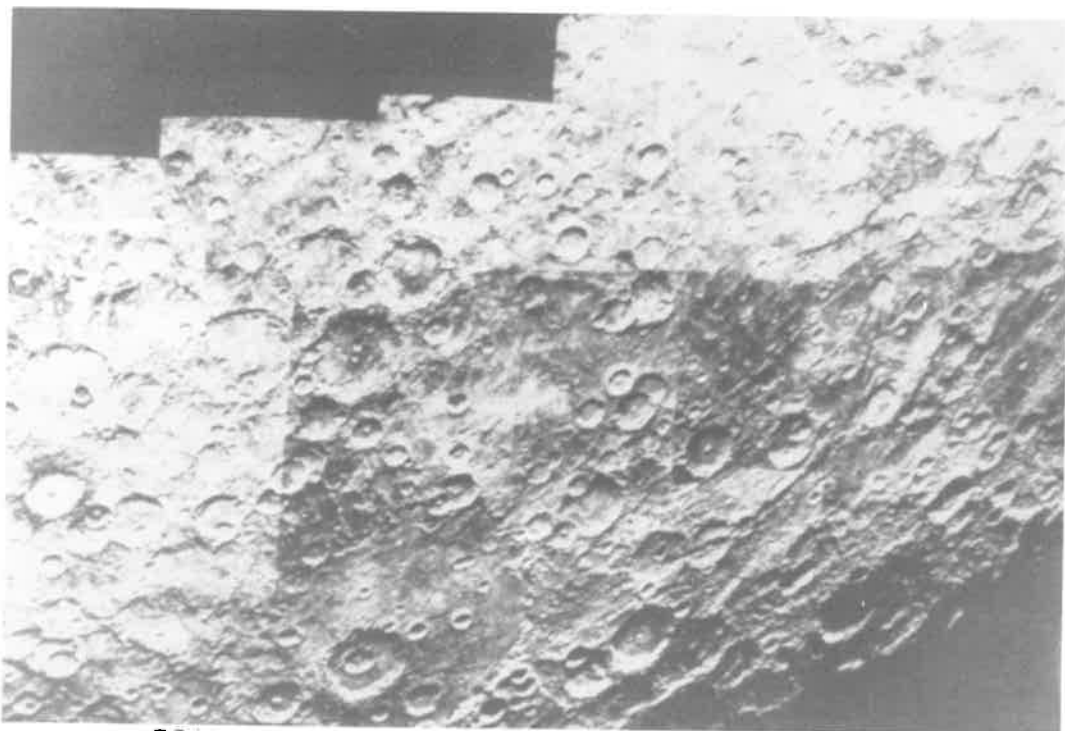


Fig. 7 - Mosaïque du sol de Mercure photographié par Mariner 10 à la distance de 71 000 km.

(photo NASA)

otre couverture : Le système de Saturne, vu du voisinage de Dioné, avec Thétys et Mimas en bas à droite, Encélade et Rhéa à gauche, Titan en haut.  
 (photo composite NASA)

# QUE SAVONS-NOUS DU SYSTEME SOLAIRE EN 1983 ?

par Mme M.Th. MARTEL, astronome à l'Observatoire de Lyon  
(Développement de la Conférence du 12 décembre 1981)

En 1981, l'exploration spatiale du système solaire s'achève presque, puisque, à part Pluton, toutes les planètes principales sont près d'être visitées par des sondes. C'est déjà chose faite pour les planètes connues de toute antiquité de Mercure à Saturne. Cinq planètes sont déjà explorées in situ et photographiées à des distances dont on n'aurait jamais rêvé il y a moins d'une vingtaine d'années.

De plus, la mission Voyager 2, en route actuellement vers Uranus passera également à proximité de Neptune. Lancée de Cap Canaveral, le 20 août 1977, la sonde Voyager 2 a survolé Jupiter le 9 juillet 1979 à 650 000 km, puis Saturne le 26 août 1981 à 101 000 km ; elle passera au voisinage d'Uranus le 24 janvier 1986 et de Neptune le 24 août 1989.

Devant de tels succès, une interrogation vient naturellement à l'esprit. C'est la question qu'un journaliste posait à un cosmonaute le 11 décembre 1981, lors de l'émission de télévision «A la poursuite des étoiles» : Pourquoi l'homme a-t-il eu envie de sortir de sa planète la Terre ? — Pourquoi ? Simplement par curiosité. Tant que l'homme existera, il voudra savoir ce qu'il y a au-delà.

Avant de broser le tableau des nouvelles connaissances acquises «De Mercure à Pluton», apportons quelques précisions relatives au système solaire :

- sa situation dans l'Univers,
- ses constituants : soleil, planètes, satellites, comètes ; puis relatons les étapes de la conquête spatiale avec leurs succès tant soviétiques qu'américains.

## LE SYSTEME SOLAIRE DANS L'UNIVERS

Tout d'abord où se situe la Terre ? A partir du Soleil, c'est la troisième des planètes gravitant autour de lui ; son diamètre est de 12 800 km, soit un milliardième d'année de lumière ou 4 centièmes de seconde de lumière (voir fig. 1 et tableau I).

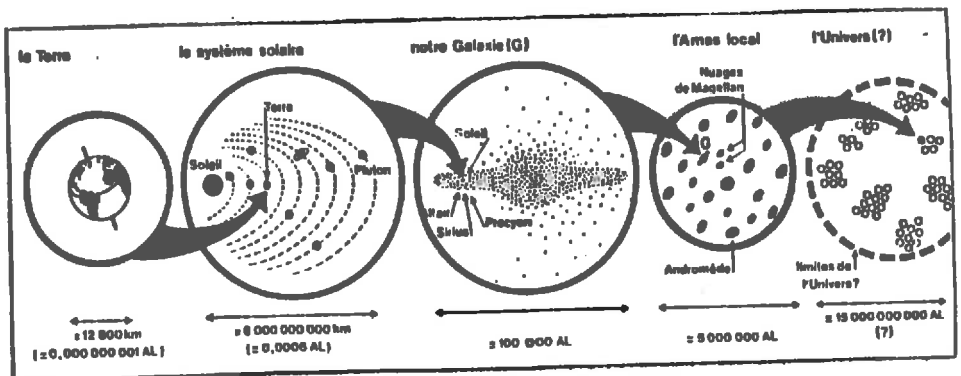


Fig. 1 - Position et dimensions du Système Solaire dans l'Univers.

Le système solaire, restreint au Soleil et à ses 9 planètes principales, occupe 39,3 unités astronomiques (U.A.), c'est-à-dire 6 milliards de km ou 6 dix-millièmes d'années de lumière ( $5^h 36^m$  de lumière).

Le soleil est une étoile naine de notre Galaxie, appelée aussi Voie Lactée. Son diamètre vaut 109 diamètres terrestres. Comme le montre la fig. 1, il se trouve loin du renflement central de la Galaxie, à une distance du Centre égale aux 2/3 du rayon galactique. Sur ce même dessin, 3 étoiles sont signalées par un petit point comme le Soleil : Altaïr, Sirius et Procyon. Les points dispersés tout autour du plan galactique figurent les amas globulaires\*. Le diamètre de la Galaxie compte 100 000 années de lumière. La fig. 1 représente la Galaxie vue par la tranche. Vue de face, la Voie Lactée apparaît comme une nébuleuse spirale où le point stellaire, le Soleil, occupe une position très excentrique sur l'un des bras.

Mais notre Galaxie n'est qu'une galaxie parmi celles de l'Amas Local dont les plus proches, les plus brillantes et les plus voisins constituent les Nuages de Magellan, la galaxie d'Andromède M31, la galaxie du Triangle M33 et plusieurs galaxies naines. L'Amas Local s'étend sur un diamètre de 5 millions d'années de lumière.

L'Amas Local n'est pas unique, plus loin il existe d'autres amas de galaxies dont l'ensemble forme l'Univers tout entier, tel qu'il est connu maintenant avec une grande incertitude car les astronomes ne savent pas encore bien en évaluer les confins. D'après les dernières observations et estimations, le diamètre de l'Univers se chiffre à 15 milliards d'années de lumière.

## LES CORPS DU SYSTEME SOLAIRE

### LE SOLEIL

Au cœur du système solaire se trouve notre étoile, le Soleil, qui à lui seul concentre les 999 millièmes de la masse du système tout entier. La masse des planètes n'intervient que pour un millième de la totalité. Le Soleil est un million trois cent mille fois plus volumineux que la Terre et mille fois plus gros que Jupiter (voir fig. 2 et Tableau I).

Photographiée, en lumière blanche, à l'aide d'une lunette, la surface du disque solaire présente très souvent des taches et des groupes de taches dont les nombres permettent d'évaluer l'activité. Le disque que nous voyons journellement forme la *photosphère*. Sans le Soleil, sans la lumière et la chaleur qu'il dispense, toute vie serait retirée à notre pauvre planète la Terre. Cette dernière a une situation bien privilégiée par rapport aux planètes voisines, car elle se trouve à une distance convenable du Soleil pour jouir d'une température clémente ; de plus son atmosphère lui sert de bouclier contre les rayons ultra-violetts du Soleil.

Les couches extérieures du Soleil demeurent habituellement cachées à nos regards, car leur rayonnement est très faible par rapport à celui de la photosphère. Elles ne nous sont révélées, dans toute leur splendeur, que pendant les éclipses totales de Soleil lorsque la Lune occulte le disque solaire. La *couronne* apparaît alors à l'œil dans toute sa beauté. L'œil, bien mieux que l'objectif photographique, est alors susceptible de discerner simultanément la basse couronne et la couronne plus lointaine. En dehors des éclipses, le coronographe, instrument inventé en 1930 par l'astronome français Lyot, permet d'observer quasi-quotidiennement la basse couronne avec ses jets, ses éruptions, ses protubérances. La couronne solaire, visible à l'œil pendant les éclipses sur des distances de vingt rayons solaires, s'étend en réalité beaucoup plus loin, tellement loin que la Terre et les planètes lointaines baignent dans l'émission du flux continu composé essentiellement de protons et d'électrons, éjecté par la couronne, appelé *vent*

---

\*Sur les amas globulaires, voir la conférence de M.T. Martel du 15 mars 1980 parue dans le bulletin de la Société Astronomique de Lyon n°18, 1981.

*solaire*. L'émission s'effectue radialement, mais en raison de la rotation du Soleil, le flux décrit à travers le système solaire une spirale d'Archimède (fig. 3).

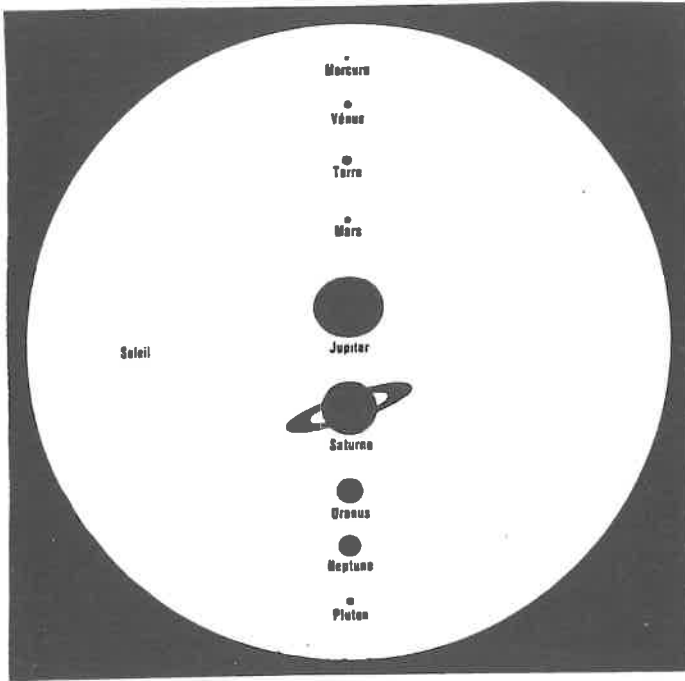


Fig. 2 - Grosseur du Soleil et des planètes.

## LES 9 PLANETES PRINCIPALES

Outre le Soleil, le système solaire comprend beaucoup de corps. Les plus importants, par leur taille et leur masse, sont les neuf planètes principales classées en deux groupes (voir Tableau I).

*Les planètes telluriques* ont des masses et des dimensions analogues à celles de la Terre. Dans l'ordre de leurs distances au Soleil, on rencontre successivement Mercure, Vénus, la Terre et Mars. Les diamètres comparés au diamètre terrestre mesurent respectivement 0,38, 0,53 et 0,96 pour Mercure, Mars et Vénus. Les densités s'échelonnent de 3,9 pour Mars à 5,6 pour Mercure. Les planètes telluriques sont de vieilles planètes qui ont perdu leurs éléments légers, hydrogène et hélium. Une croûte solide sépare les intérieurs de ces planètes de leurs atmosphères.

*Les planètes géantes* sont de grandes dimensions et de faible densité. Entre 5,2 U.A. et 30,1 U.A. du Soleil, nous rencontrons successivement Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, de diamètres respectifs 11,3, 9,5, 3,7 et 3,5 fois le diamètre terrestre. Quant à leurs masses, elles sont énormes, équivalentes successivement à 318, 95, 48 et 42 fois celle de la Terre. Leurs densités varient de 2,3 pour Neptune à 0,7 pour Saturne. Les planètes géantes sont des planètes jeunes, constituées essentiellement d'hydrogène et d'hélium. Ce sont d'immenses boules gazeuses à l'extérieur, liquides ou solides à l'intérieur par suite des énormes pressions qui y règnent.

Tableau I : Données relatives au Soleil et à ses planètes principales

Nom	Symbole	Distance moyenne au soleil		Inclinaison sur l'écliptique	Durée de révolution	Diamètre	Volume	Masse	Densité	Durée de rotation	Satellites
		U.A.	M km								
Soleil	☉					109	1 300 000	333 442	1,41	25 à 29 j	
Mercure	☿	0,39	59,14	7°0'	87 j, 97	0,38	0,06	0,06	5,4	58 j, 5	0
Vénus	♀	0,72	108,2	3°24'	224 j, 71	0,96	0,89	0,82	5,1	243 j	0
Terre	♁	1,00	149,6	0°0'	365 j, 26	1	1	1	5,52	23 h 56 m	1
Mars	♂	1,52	228,9	1°51'	1 an 321 j, 7	0,53	0,15	0,11	3,9	24 h 37 m	2
Jupiter	♃	5,20	779,2	1°19'	11 ans 314 j, 8	11,26	1 338	318	1,3	[ 9 h 50 m 9 h 56 m	16
Saturne	♄	9,56	1 432	2°30'	29 ans 167 j	9,46	766	95	0,7	10 h 39 m	23
Uranus	♅	19,22	2 878	0°46'	84 ans 7 j	3,70	48	14,6	1,7	10 h 42 m	5
Neptune	♆	30,11	4 505	1°47'	164 ans 280 j	3,50	42	17	2,3	15 h 48 m	2
Pluton	♇	39,44	6 084	17°10'	247 ans 249 j	0,31	0,03	0,0025	0,8	6 j, 3	1

1 U.A. = unité astronomique = distance moyenne Terre-Soleil de 149,5 millions de km.

M km = millions de km

diamètre de la Terre = 12 800 km

*Pluton* est une planète bien particulière. Située à 39,3 U.A. du Soleil, de faible masse (1/400e de celle de la Terre) et d'un diamètre comparable à celui de la Lune, Pluton aurait pu, à l'origine, appartenir au système de Neptune et en être un satellite.

Toutes les planètes, à l'exception de Mercure et de Pluton, gravitent autour du Soleil dans des plans peu différents de celui de l'écliptique\*. L'inclinaison de leurs plans orbitants varie entre 0,5° pour Uranus et 3,5° pour Vénus. L'inclinaison de l'orbite de Mercure est plus prononcée, de 7° sur l'écliptique. Quant à Pluton, elle possède l'orbite la plus inclinée de toutes les planètes, 17° (fig. 4).

## LES SATELLITES

Les planètes tournent autour du Soleil. Les satellites tournent autour des planètes, formant ainsi autour de certaines d'entre elles un système fort peuplé.

Mercure et Vénus, planètes les plus proches du Soleil, n'ont pas de satellite.

\* L'écliptique est la courbe décrite en 1 an par la Terre autour du Soleil.

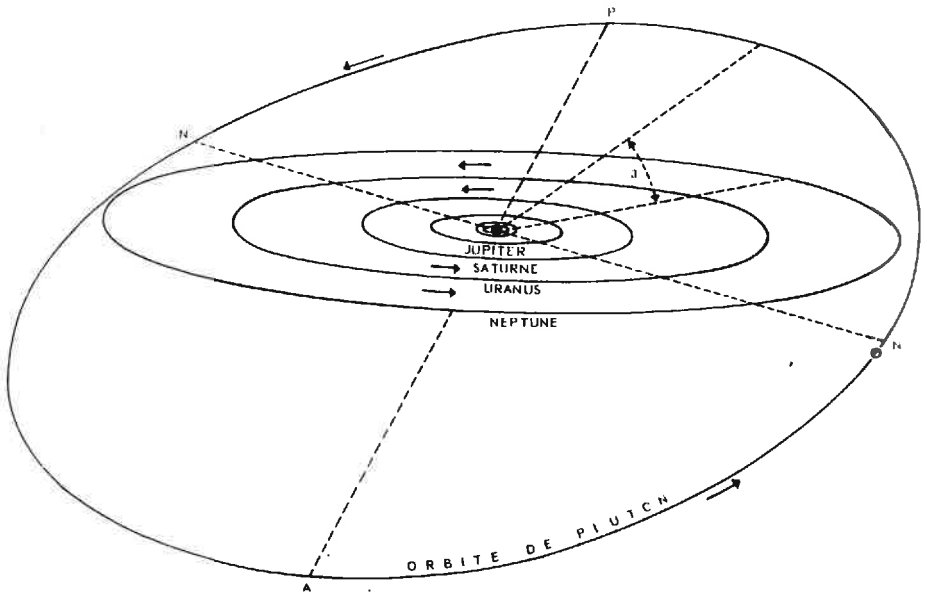


Fig. 4 - Orbits des planètes principales du système solaire.  
 A remarquer, l'orbite elliptique de Pluton inclinée de  $17^\circ$  sur l'écliptique.

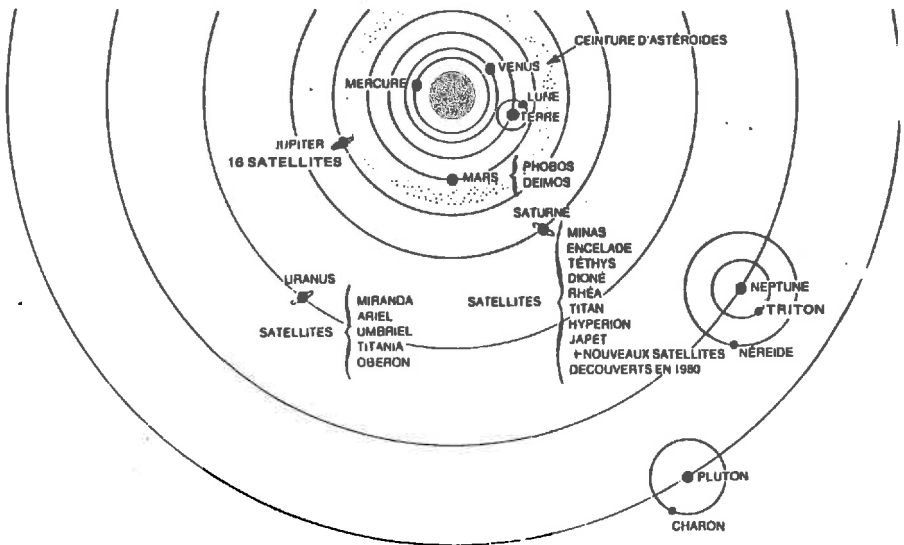


Fig. 5 - Les familles planétaires : satellites et anneaux.

La Terre possède un satellite, la Lune, dont le diamètre mesure 3 500 km.

Mars a deux petits satellites, Phobos et Deimos de forme ellipsoïdale, dont les grands axes mesurent respectivement 24 km et 12 km.

Grâce aux observations de Voyager 2 en 1979, on dénombre maintenant 16 satellites de Jupiter.

En 1981, les passages de Voyager 1 et 2 au voisinage de Saturne ont permis de compter à celui-ci 17 satellites. En janvier 1982, la NASA annonçait, qu'en fait, le nombre de lunes gravitant autour de Saturne est compris entre 21 et 23. Des doutes d'identification subsistent encore pour 2 d'entre elles.

Uranus possède 5 satellites, Neptune 2 et Pluton un seul, Charon. La figure 5 présente les différentes familles planétaires.

## LES ANNEAUX

Trois planètes présentent également des anneaux.

Jupiter a un seul anneau de 30 km d'épaisseur, découvert par Voyager 1 en 1979.

L'anneau de Saturne, interprété par Galilée en 1610 comme deux satellites géants, puis découvert sous son aspect actuel par Huygens en 1655, faisait de cette planète, jusqu'à ces dernières années, l'objet le plus original et le plus beau du système solaire.

Les 9 anneaux d'Uranus furent décelés pour la première fois lors de la campagne d'observations menée au moment de l'occultation d'une étoile de 9e grandeur, de la constellation de la Balance, par Uranus, le 10 mars 1977. L'existence des anneaux n'est prouvée que par les variations d'éclat de l'étoile occultée par eux. Il y a 4 anneaux intérieurs, larges chacun d'une dizaine de kilomètres seulement et un anneau extérieur plus étendu et irrégulier avec une largeur variant entre 30 et 90 km environ.

## LES PETITES PLANETES ou ASTEROIDES\*

Entre les orbites de Mars et de Jupiter circulent une nuée de petites planètes dont les diamètres s'échelonnent entre 1 000 km et quelques kilomètres (fig. 5). Les plus massives, Cérés, Pallas et Vesta, ont des masses 1 000 fois plus petites que celles de la Terre. On a découvert des milliers d'astéroïdes dont certains ne sont que de gros rochers.

L'astronome Tombaugh, qui a découvert la planète Pluton en 1930, en a trouvé 700 rien qu'en recherchant la planète transneptunienne responsable des perturbations d'Uranus, non expliquées par Neptune et Pluton.

## LES COMETES et ESSAIMS METEORITIQUES

D'autres corps se meuvent dans le Système Solaire sur des orbites inclinées dans tous les azimuts par rapport à l'écliptique, et de formes elliptiques plus ou moins allongées, paraboliques ou très faiblement hyperboliques ; ce sont *les comètes*.

L'aspect d'une comète brillante dans le ciel est un beau spectacle. On distingue la tête, la portion la plus brillante et une queue qui, dans les belles comètes, peut s'étendre sur plus de 30 degrés de ciel, couvrant plusieurs unités astronomiques. La couverture du Bulletin de la Société Astronomique de Lyon n° 12-1978 présente la comète Mrkos 1957 III photographiée au télescope Schmidt de l'Observatoire de Haute-Provence. Une comète importante possède au moins deux queues bien distinctes, l'une large formée de poussières qui s'incurve dans le plan de

---

\*Sur les comètes, astéroïdes et météorites, voir conférence de M.T. Martel du 27 novembre 1976 parue au Bulletin de la Société Astronomique de Lyon n° 11 et 12, 1978.



l'orbite, l'autre gazeuse, généralement rectiligne, reste à l'opposé du Soleil. La queue de poussières s'oriente sous la pression de radiation exercée par la lumière solaire tandis que la direction de la queue gazeuse s'explique par l'action du vent solaire (Bierman).

Le milieu interplanétaire renferme en outre une quantité importante de particules rocheuses ou métalliques que l'on désigne sous le nom de poussières interplanétaires. Cette poussière constitue les *météorites* qui bombardent la Terre et les autres planètes en permanence.

## LES ETAPES DE LA CONQUETE SPATIALE

C'est le 4 octobre 1957 que débuta la conquête spatiale avec le lancement par les soviétiques du premier satellite artificiel de la Terre, Spoutnik I. Depuis, les étapes de l'exploration spatiale se poursuivirent activement, intéressant successivement l'environnement terrestre, la Lune, puis les planètes proches de la Terre et enfin les planètes lointaines.

### CONQUETE DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE

Très vite le nombre de sondes explorant le voisinage terrestre immédiat ne s'est plus compté. Les lancements des satellites terrestres poursuivent des buts très divers : géodésiques, météorologiques, géophysiques, astronomiques, militaires, utilitaires (télécommunications par exemple).

### CONQUETE DE LA LUNE

Dès 1959, l'engin soviétique Luna photographie la face cachée de la Lune. Diverses étapes se sont succédées.

Il y eut d'abord le survol en 1959.

Vint ensuite la technique des écrasements. Le premier est celui de la sonde soviétique Luna 2 en 1961. En 1964, 3 Rangers américains numérotés 7, 8 et 9, transmettent des photographies détaillées des cratères lunaires de toutes dimensions avant de s'écraser comme prévu sur le sol lunaire.

Puis on mit au point la technique des atterrissages en douceur. Là encore les soviétiques arrivèrent les premiers avec Luna 9, le 3 février 1966, suivi de près par Surveyor 1 le 9 mai. L'année 1966 voit aussi la réalisation de projets ambitieux avec l'envoi de 7 satellites lunaires orbitants : 4 soviétiques et 3 américains. Le sol lunaire est photographié et cartographié presque entièrement. Les montagnes lunaires montrent des ombres très nettes car la Lune n'a pratiquement pas d'atmosphère, quelques traces seulement d'hélium et d'argon.

D'autres sondes ont atterri ensuite, qui ont gratté le sol et analysé les premiers échantillons.

Et puis, et puis... en 1969, l'homme a marché sur la Lune. Neil Armstrong et E. Aldrin débarquent sur la Lune avec le LEM du vaisseau spatial Apollo 11, sortent pendant 2 h 13 m et parcourent 400 m. Une grande première !... Puis les vols habités américains se succèdent d'Apollo 11 à Apollo 17 en 1972, permettant des sorties plus longues, des parcours plus étendus : 36 km parcourus par les astronautes d'Apollo 17 au moyen d'une jeep. Des installations de stations scientifiques automatiques sont mises en place. De leur côté, les soviétiques envoient les sondes Luna 16 à 20 et des engins automatiques Lunokhod 1 à 4, non habités, qui sont capables de se déplacer sur la Lune, de recueillir des échantillons et de revenir sur Terre.

Depuis 1976, les missions lunaires ont cessé, faute de moyens financiers. Il serait très possible en effet d'installer un grand Observatoire sur la Lune.

## CONQUETE SPATIALE DES PLANETES PROCHES DE LA TERRE

Après l'exploration de la Lune, celle de Vénus et de Mars devint le nouvel objectif. Dès 1962, Mariner 2 passe à 41 000 km de Vénus et fournit d'abondants renseignements scientifiques.

En 1964, la sonde soviétique Venera 4 descend dans l'atmosphère de Vénus et transmet de nombreuses mesures relatives à la composition, à la pression et à la température de l'atmosphère vénusienne. Les missions spatiales se succèdent pendant les périodes favorables au lancement qui reviennent tous les 19 mois.

En 1975, premières satellisations autour de Vénus et premières photographies de son sol par Venera 9 et 10.

Du 4 décembre au 25 décembre 1978, 4 sondes arrivent avec succès sur Vénus :

2 américaines : Pioneer Venus 1 et 2

2 soviétiques : Venera 11 et 12

Ces dernières sont les 8<sup>e</sup> et 9<sup>e</sup> engins soviétiques à se poser en douceur sur le sol de la planète. Elles transmettent des photographies de son sol pendant 110 minutes.

Pioneer Venus 1, satellisée autour de Vénus en établit la cartographie par radar. Pioneer Venus 2 lâche 3 petites sondes dans l'atmosphère de Vénus qui atterrissent et émettent pendant plus d'une heure, puis la sonde elle-même se pose sur le sol vénusien.

En février 1982, les sondes soviétiques Venera 13 et 14 atteignent Vénus.

Avec les sondes Mars 1 à 6, les essais soviétiques de l'exploration de Mars se soldent par des échecs. La première, lancée en 1962, passe muette à 193 000 km. Les 2 suivantes, envoyées en 1971, atteignent le sol de Mars en pleine tempête. Seul Mars 3 réussit à émettre pendant 20 secondes après son atterrissage. Nouvel échec soviétique en 1973 avec Mars 4, 5, 6. Sur Mars, les Américains enregistrent par contre de grands succès. En 1964, Mariner 4 survole Mars à 9 850 km et transmet 19 photographies. En 1969, les Mariner 6 et 7 photographient des détails du sol martien d'une dimension de 300 m. Enfin en 1976, les Vikings 1 et 2 satellisés tous deux autour de Mars établissent sa cartographie et étudient ses variations climatiques. Vikings 1 et 2 envoient chacun une capsule Lander atterrir sur le sol de Mars, dont le fonctionnement se maintint pendant plus de trois ans.

## CONQUETE DES PLANETES LOINTAINES

Depuis 1972, les Américains ont entrepris la conquête spatiale de toutes les planètes du système solaire. Elle débuta par l'envoi de Pioneer 10 vers Jupiter.

Mariner 10, après avoir survolé Vénus le 5 février 1974, passe à 700 km au-dessus de Mercure le 5 mars. Elle est devenue ensuite une planète artificielle du Soleil et a survolé Mercure deux autres fois avant que ses instruments cessent de fonctionner. Puis c'est l'envoi de Pioneer 11 qui survole Jupiter en décembre 1974 puis Saturne en septembre 1979.

Enfin, en 1977, cette même année voit le lancement des missions Voyager 1 et 2. Le premier survole Jupiter en mars 1979 puis Saturne en novembre 1980. Le second après les survols de Jupiter et Saturne atteindra Uranus en 1986 et Neptune en 1989.

Résumons par une phrase les exploits sans précédents de la recherche spatiale américaine de la décennie 1971-1981 :

*dix années, dix engins, dix succès !*

Voici la chronologie de ces dix brillantes réussites, repérées par leurs dates de lancement :

- 1971 Mariner 9 1er engin satellisé autour de Mars, transmet des photographies de détails de 10 mètres.
- 1972 Pioneer 10 passe à 130 000 km de Jupiter.
- 1973 Pioneer 11 survole Jupiter à 42 000 km le 3 décembre 1974 et Saturne le 5 septembre 1979.
- 1973 Mariner 10 survole Vénus le 5 février 1974, puis photographie Mercure le 29 mars 1974 à 703 km de son sol.
- 1975 Viking 1 orbitent autour de Mars en 1976 et envoient une capsule atterrir sur le sol martien et l'étudier.
- 1977 Voyager 1 survole Jupiter en 1979, puis Saturne en 1980.
- 1977 Voyager 2 survole Jupiter en 1979, Saturne en 1981, Uranus en 1986 et Neptune en 1989.
- 1978 Pioneer Venus 1 orbite autour de Vénus, en établit une cartographie par radar.
- Pioneer Venus 2 lâche 3 sondes sur le sol vénusien et y atterrit.

## DE MERCURE A PLUTON

### MERCURE

Jusqu'à ce jour, une seule sonde Mariner 10 a exploré Mercure, la plus petite planète du système solaire après Pluton (diamètre 4 880 km) et la planète la plus proche du Soleil (de 46 à 70 millions de kilomètres). Le voyage de Mariner 10 est représenté sur la figure 6. Lancée le 3 novembre 1973 de Cap Kennedy, Mariner 10 passait à 5 785 km de Vénus le 5 février 1974, puis à 703 km de Mercure le 29 mars 1974.

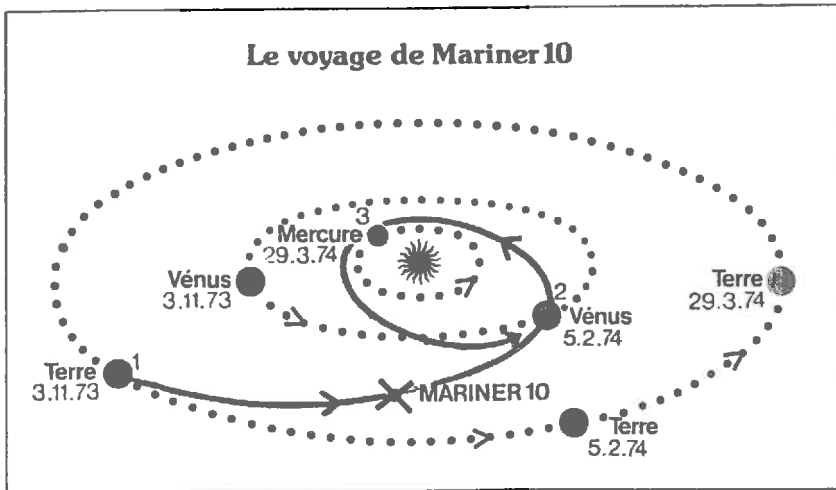


Fig. 6 - Trajectoire de Mariner 10.  
(les positions de la Terre sont représentées successivement aux moments du lancement et des survols de Vénus, puis de Mercure).

puis déviée par le champ gravitationnel de celle-ci, se dirigeait vers Mercure qu'elle survolait à 703 km d'altitude le 29 mars 1974. Décrivant depuis une orbite héliocentrique, Mariner 10 s'approche périodiquement de Mercure tous les 176 jours. Ses appareils ont fonctionné lors des deux passages suivants le 21 septembre 1974 à 47 980 km et le 16 mars 1975 à 320 km. Mariner 10 a transmis 8 000 photographies, montrant des détails compris entre 800 m et 300 m, analogues à ceux de la Lune et de Mars. Le sol de Mercure est criblé de nombreux

cratères, ainsi que le représente la photographie (fig. 7) prise à 71 000 km du sol de Mercure. Sur des clichés à plus haute résolution, on remarque que les grands cratères, les plus vieux, sont dénudés par de petits cratères formés beaucoup plus tard.

Trois formes d'érosion ont contribué à façonner le sol de Mercure :

- l'activité météoritique,
- l'activité volcanique postérieure à la création des cratères,
- le cycle thermique, lié aux variations de la distance de Mercure au Soleil de 46 à 70 millions de km en 44 jours.

Les mesures infrarouges ont conduit à des températures de + 293°C à + 427°C pour la face éclairée, selon la distance de Mercure au Soleil. La face à l'ombre est à une température de - 200°C. La croûte du sol mercurien pourrait être constituée par une matière poreuse, possédant une faible conductivité thermique, semblable au régolite lunaire.

La sonde américaine Mariner 10 a permis de connaître le diamètre exact de Mercure : 4 880 km, contre 4 600 km évalué depuis le sol terrestre par des méthodes optique et radar.

La densité de Mercure, 5,45, est forte, compte tenu du faible volume de la planète. Elle peut s'expliquer par l'existence d'un noyau central composé de fer mais aussi d'éléments plus lourds comme l'uranium.

Mariner 10 a confirmé la présence d'une petite atmosphère, mise en évidence par les mesures spectroscopiques de Kozirev le 10 novembre 1973, lors du passage de Mercure devant le Soleil, composée surtout d'argon et de néon. L'hydrogène et l'hélium sont présents mais en quantités très inférieures aux estimations de Kozirev.

Les mesures au magnétomètre de Mariner 10 ont montré que Mercure est doté d'un champ magnétique non négligeable, égal au centième de celui de la Terre et, approximativement aligné sur l'axe de rotation de la planète.

## VENUS

Celle que l'on nomme aussi l'Étoile du Berger, est l'astre le plus brillant du ciel après le Soleil et la Lune, le premier à apparaître après le coucher du Soleil et le dernier à disparaître au lever du jour. Cette planète évolue sur une orbite elliptique de faible excentricité, restant à une distance moyenne du Soleil d'environ 108 millions de km, donc plus près de celui-ci que la Terre (distance moyenne 149,6 millions de km). Ses dimensions et sa densité sont semblables à celles de la Terre. Vénus tourne autour du Soleil en 224,7 jours.

A l'aube de l'ère spatiale, on ne connaissait que peu de choses sur Vénus, à cause de l'épaisse couche nuageuse qui dissimule son sol. La présence d'une atmosphère dense, connue depuis l'invention de la lunette astronomique, est révélée par l'aspect de l'image des phases de la planète. Au lieu de montrer un croissant bien net comme la Lune, l'image du croissant de Vénus se prolonge par des cornes, preuve de l'existence d'une épaisse atmosphère entourant la planète. A partir de 1961, des photographies en ultraviolet, prises au Pic du Midi, ont mis en évidence la rotation de la haute atmosphère vénusienne en 4 jours dans le sens rétrograde. Cette rotation de l'atmosphère, tournant comme un solide, fut pleinement vérifiée par les photographies, obtenues par Mariner 10 en février 1974, qui montrent le déplacement de certains détails du système nuageux, visibles en ultraviolet.

Commencées en 1962, les mesures radar ont permis d'établir, depuis la Terre, des cartes assez précises du sol de Vénus et d'évaluer à 243 jours la rotation du sol planétaire, effectuée elle aussi dans le sens rétrograde. La durée du jour vénusien excède donc de plus de 19 jours l'année vénusienne !

L'exploration de Vénus est un grand succès de la recherche spatiale, car l'essentiel de nos informations concernant l'atmosphère, la température et le relief de la planète ont été obtenues

grâce aux vaisseaux spatiaux. 25 véhicules spatiaux ont été lancés jusqu'à ce jour en direction de Vénus. Le Tableau II mentionne 18 principaux lancements : 13 soviétiques (sondes Venera), 5 américains (Mariner et Pioneer Venus). Le 14 décembre 1962, Mariner 2 est le premier engin, en état de marche, à survoler Vénus, révélant une température au sol supérieure à 400°C, une absence de champ magnétique et de ceintures de radiation, une forte teneur de l'atmosphère en gaz carbonique.

**Tableau II : Exploration spatiale de Vénus**

Sondes	Lancements	Résultats
Venera 1	12 février 1961	Passé muette à 96 500 km le 19 mai 1961
Mariner 2	27 août 1962	Survole Vénus à 41 000 km le 14 décembre 1962
Venera 3	16 novembre 1965	La capsule de descente touche le sol de Vénus le 1er mars 1966
Venera 4	12 juin 1967	La capsule de descente cesse ses émissions à 23 km du sol
Mariner 5	14 juin 1967	Passé à 4 000 km le 19 octobre 1967
Venera 5	5 janvier 1969	{ leur capsule de descente cesse ses émissions à 20 km du sol
Venera 6	10 janvier 1969	
Venera 7	17 août 1970	La capsule de descente émet pendant 23 mn depuis le sol vénusien le 15 décembre 1970
Venera 8	27 mars 1972	Emet 50 minutes depuis le sol le 22 juillet 1972
Mariner 10	Novembre 1973	Passé à 5 870 km de Vénus le 5 février 1974, puis survole Mercure
Venera 9	8 juin 1975	Emet le 22 octobre pendant 50 mn depuis le sol
Venera 10	14 juin 1975	Emet le 25 octobre pendant 65 mn depuis le sol
Pioneer Venus 1	20 mai 1978	} 1 res photos
Pioneer Venus 2	8 août 1978	
Venera 11	9 septembre 1978	Arrive le 4 décembre 1978, orbite autour de Vénus. Périastre : 233 km - Apoastre : 66 000 km Période : 24 h 14 m. Fonctionne pendant plus de 2 ans
Venera 12	14 septembre 1978	Atterrissage 4 sondeurs en divers points distants de 10 000 km, le 9 décembre 1978
Venera 13	30 octobre 1981	Passé à 35 000 km La capsule fonctionne au sol pendant 95 minutes le 25 décembre 1978
Venera 14	4 novembre 1981	Passé à 44 000 km de Vénus La capsule fonctionne au sol pendant 110 mn le 21 décembre 1978
		{ atterrissent sur le sol de Vénus en février 1982 - fonctionnent pendant 2 heures après l'atterrissage

## L'atmosphère

A partir de 1965, les sondes Venera 3 à 6 lâchent dans l'atmosphère vénusienne chacune une capsule qui donne au cours de sa descente des mesures de température et de pression, conduisant à estimer à 500°C et à 90 atmosphères la température et la pression du sol. Ces valeurs ont été confirmées par les mesures réalisées, in situ, par les capsules détachées des sondes Venera 7 à 10. La composition des gaz, constituant l'atmosphère de Vénus, établie grossièrement par les premières sondes Venera, est maintenant connue avec une grande précision, grâce aux mesures de Pioneer Venus 2, confirmées par celles de Venera 11 et 12.

La haute atmosphère s'étend à des altitudes comprises entre 70 et 48 km. La structure des nuages apparaît stable et uniforme. On y décèle la présence d'acide sulfurique, de gaz sulfureux et sulfurique (SO<sup>2</sup> et SO<sup>3</sup>) ainsi que l'existence de soufre sous forme de cristaux de 10 à 20 µm de diamètre. L'atmosphère moyenne, au-dessous de 30 km d'altitude, ne contient pas de particules de dimensions mesurables. Elle est composée de 96,6 % de gaz carbonique, de 3,2 % d'azote et de traces de vapeur d'eau, d'hélium, d'acide sulfurique, d'oxygène moléculaire, de néon et d'argon.

La température du sol 475°C, sensiblement partout la même à 20°C près, côté jour et côté nuit de la planète, s'explique simplement par *l'effet de serre* de son atmosphère. Le rayonnement solaire qui parvient à la surface de Vénus est maximal dans le domaine visible. Cette énergie est absorbée par le sol qui la réémet à son tour dans le domaine spectral infrarouge dont le rayonnement est absorbé par le gaz carbonique atmosphérique. Ce gaz ainsi chauffé réémet du rayonnement qu'il renvoie vers le sol. Ainsi la chaleur reçue par le sol vénusien ne peut plus se dissiper vers l'extérieur.

En décembre 1978, Pioneer Venus 2 lance dans l'atmosphère de Vénus, 3 petites sondes qui portent les jolis noms de Jour, Nuit et Nord. Ces 3 engins et la sonde Pioneer elle-même atterrissent en divers points distants de 10 000 km. En atteignant le sol vénusien, la sonde Jour a soulevé un véritable nuage de poussière qui, après 4 minutes, est retombé à l'endroit même où il s'était formé, prouvant qu'à cet endroit les vents sont faibles ou inexistantes à la surface de Vénus. Cette observation est en contradiction avec les mesures faites par les sondes Venera. Le régime des vents vénusiens pourrait, par conséquent, être fort irrégulier.

## Le sol

Les sondes soviétiques Venera 9, 10, 13, 14 ont transmis chacune des photographies du paysage environnant le sol où elles se sont posées. Les deux premières vues panoramiques, réalisées à 2 200 km l'une de l'autre, ont beaucoup surpris les scientifiques, car les images révèlent de nombreux cailloux et rochers dont certains ont des formes très aiguës (fig. 8).

Quant au relief, c'est Pioneer Venus 1 qui a permis de dresser la cartographie précise du sol de la planète, grâce aux mesures réalisées avec son altimètre radar.

Satellite artificiel de Vénus depuis le 4 décembre 1978, Pioneer Venus 1 décrit une orbite elliptique fortement inclinée de 74° sur l'équateur de Vénus. La sonde s'approche à 230 km du sol et s'en éloigne à 66 000 km. Par suite de cette trajectoire, l'exploration du sol de Vénus par mesures radar ne couvre que 93 % de son sol, de - 63° de latitude Sud à + 74° de latitude Nord, excluant les régions polaires. Le relevé topographique prend en compte toutes les formations dont la superficie excède 30 km de diamètre et donne leur altitude à 200 m près.

60 % de la surface explorée est une vaste plaine dont les ondulations ne dépassent pas 1 000 m d'altitude. Elle est parsemée de cratères peu profonds, dus probablement à des météorites. On a découvert deux sortes de montagnes, baptisées des noms très poétiques de Terre Aphrodite (nom de Vénus en grec) et Terre Ichtkar ou Astartée (nom de la déesse du ciel chez les Phéniciens). Astartée, au Nord de la planète, se présente comme un plateau de 3 000 m au-dessus du niveau du sol moyen, sur lequel se trouve un massif montagneux atteignant 6 000 m et 7 000 m avec un point culminant à 11 000 m, le Mont Maxwell. L'étendue de ce

massif couvre une superficie aussi grande que celle de l'Australie ou des Etats-Unis. La Terre Aphrodite n'a pas de plateau. C'est sur une plaine ondulée que repose ce massif moins haut atteignant 7 900 m par rapport au niveau du sol moyen.

Pioneer Venus 1 a identifié des vallées dont l'une d'elles large de 280 km et longue de 2 250 km, contient le point le plus bas de la planète à 2900 m sous le niveau de référence. Pioneer Venus 1 explore également l'atmosphère et l'ionosphère de Vénus, sa mission se poursuivra jusqu'en 1985.

## LE SYSTEME TERRE-LUNE\*

Dans le cadre du programme spatial américain d'études des ressources terrestres, un grand nombre de photographies de la Terre ont été prises à partir des satellites.

La Terre, dont l'aplatissement aux pôles est faible (rayon polaire inférieur au rayon équatorial de 31 km) apparaît ainsi sous la forme d'une sphère recouverte partiellement de nuages blancs. Les océans présentent une couleur dominante bleue tandis que les continents se signalent par des zones de couleur verte et jaune. Les zones vertes sont sujettes à des changements de teintes, dans le temps, signes des variations saisonnières.

Le mouvement de la Lune autour de la Terre n'est pas simple en raison des perturbations gravitationnelles dues au Soleil et de celles qui résultent de l'aplatissement de la Terre. La Lune présente toujours la même face à la Terre. Sa durée de révolution égale sa durée de rotation (27,3 jours). Ainsi un point sur la Lune reste exposé au Soleil environ 14 jours puis est plongé dans la nuit pendant une durée égale. Sa température au sol peut aller de 125°C le jour à - 175°C la nuit. La lunaison ou durée entre deux nouvelles lunes est de 29,5 jours, l'écart par rapport à la période de rotation est dû au déplacement héliocentrique du système Terre-Lune. La Lune décrit une orbite légèrement elliptique autour de la Terre, la distance à la Terre variant entre 356 000 km et 406 700 km. La Lune est nettement plus petite que la Terre, son diamètre dépasse à peine le quart de celui de notre globe (3 476 km).

Depuis 1959 jusqu'à 1975, plus de 50 engins ont été lancés vers la Lune. 6 missions Apollo y ont débarqué. Plus de 20 000 photos ont été prises, aussi bien de la face tournée vers la Terre que de la face «cachée». 5 stations de mesures y ont été déposées (3 par les Etats-Unis, 2 par l'URSS), comportant gravimètres, magnétomètres, thermomètres, spectromètres, détecteurs d'atmosphère, appareils pour l'analyse chimique des roches, pour l'étude des flux de chaleur interne et pour celle des séismes naturels et artificiellement provoqués. Les sismographes, prévus pour fonctionner un an, ont fonctionné 8 ans.

400 kg de roches lunaires ramenées à Terre ont été analysées par toutes les méthodes physiques et chimiques. Tous les éléments trouvés à la surface de la Lune sont connus aussi sur la Terre. La Lune est plus pauvre en éléments volatils comme le carbone et l'oxygène et en d'autres éléments comme le cobalt, le potassium, le sodium, le silicium... Elle est plus riche en éléments réfractaires comme le calcium, le titane, le magnésium et aussi en fer et en terres rares sauf l'euporium. Les métaux sont à l'état natif (Fe, Co, Cu, etc...). L'eau, que l'on trouve dans toutes les roches terrestres, est extrêmement rare sur la Lune.

A la surface de la Lune, sur 1 à 20 m d'épaisseur, les morceaux de roche provenant des derniers impacts dus aux météorites ne sont pas recimentés ; ils constituent une couche poudreuse, appelée *un régolite*. Par leurs chocs, les nouvelles météorites brisent les menus fragments du sol, mais par la chaleur dégagée, elles peuvent au contraire les faire fondre et ainsi les ressouder.

Le caractère dominant du relief lunaire est le phénomène de cratérisation. Les cratères, très nombreux, prennent toutes les dimensions du centimètre à 300 km. Les cratères lunaires

\*Pour en savoir plus sur la constitution de la Lune, consulter le compte-rendu de la conférence de G. Adam «La Lune après Apollo», paru dans le Bulletin de la Société Astronomique de Lyon n°9, 1977.

sont, en majorité, le résultat d'impacts de météorites, d'autres sont d'origine volcanique. Un cratère est plus jeune que les terrains où il a été creusé et que les cratères qu'il recoupe.

Sur Terre, il est difficile de dénombrer aussi bien les cratères, dus aux impacts des météorites, à cause des phénomènes d'érosion qui en ont nivelé les parois. L'érosion sur Terre résulte principalement des eaux de ruissellement et des vents. Un dénombrement des cratères terrestres, entrepris récemment, permet d'en recenser 230 dont le plus connu et le mieux conservé est le Meteor Crater dans l'Arizona (diamètre 1,2 km).

## MARS

Facilement reconnaissable dans le ciel, à l'œil nu, par sa belle couleur rougeâtre, Mars apparaît au télescope comme un disque jaune sur lequel on distingue une tache blanche à l'emplacement du pôle visible. La planète Mars est beaucoup plus petite que la Terre, son diamètre est de 6 787 km. Dans les grands instruments, le repérage de détails bien caractéristiques sur la surface du disque a permis de montrer que la rotation de la planète sur elle-même s'effectue en 24 h 37 m. Les saisons sur Mars sont plus longues que sur Terre car l'année martienne dure 687 jours, elles ont des durées inégales car l'orbite est plus elliptique. La distance de Mars au soleil varie entre 206 et 248 millions de km.

Le Tableau III relate les étapes de l'exploration spatiale de Mars.

### Atmosphère martienne

Analysée par les capsules Landers 1 & 2 des sondes Viking 1 & 2 au cours de leur descente avant d'atterrir respectivement les 20 juillet et 5 septembre 1976, l'atmosphère de Mars présente au sol une pression de  $6 \pm 2$  milibars. Cette pression très faible, comparée à celle de l'atmosphère terrestre de valeur moyenne 1 000 mb, renferme 95 % de gaz carbonique, 3,5 % d'azote, 1 % d'argon et de petites quantités de vapeur d'eau et d'oxyde de carbone.

Les vents soufflent normalement à des vitesses comprises entre 3 et 35 km/h. A certaines périodes, de véritables tempêtes de vents de sable peuvent faire rage très longtemps, comme celle de novembre 1971 qui masqua complètement le sol de la planète au moment de la satellisation de Mariner 9 et pendant les 3 mois qui suivirent. Mariner 9 a observé des colonnes de poussières, s'élevant jusqu'à 30 km du sol, accompagnées de vents au sol de 180 km/h.

### Le sol

Les 2 aires d'atterrissages des Landers montrent un sol orangé, parsemé de nombreux cailloux et rochers, eux-mêmes recouverts d'une mince couche de sable (fig. 9). Le ciel de Mars est rose, couleur due à la diffusion de la lumière par les particules solides en suspension dans l'atmosphère de Mars.

Chaque station déposée sur le sol de Mars possède une petite grue dont la pelle creuse des sillons et extrait des échantillons. La consistance du sol est ferme, pas d'éboulement (fig. 9). Les chercheurs de la N.A.S.A. pensent que l'eau qui a dû couler en abondance sur le sol de Mars a imbibé son sol, cimentant de glace les grains de sable de la surface —genre de limonite finement broyé, oxyde de fer fortement hydraté—. L'analyse de la poudre recueillie par la pelle donne pour la composition du sol de Mars : 50 % d'oxygène, 14 % de fer, 20 % de silice, 5 % d'aluminium, 4 % de calcium.

Les 2 stations déposées sur le sol de Mars, prévues pour fonctionner 3 mois, ont fonctionné pendant plus de 3 ans, photographiant le paysage environnant pendant les différentes saisons martiennes. Ainsi, pendant l'hiver, les photos du sol recouvert de neige prennent l'aspect de paysages de cartes de Noël.

Mais le but essentiel, assigné aux laboratoires des Landers, consistait à rechercher l'existence présente ou passée de la vie sur Mars. Plusieurs expériences ont été réalisées pour cela sur des échantillons du sol martien :





Fig. 8 - Vue panoramique de Vénus photographiée par Venera 9 le 17.01.1976.  
(photo Acad. Sci. URSS)

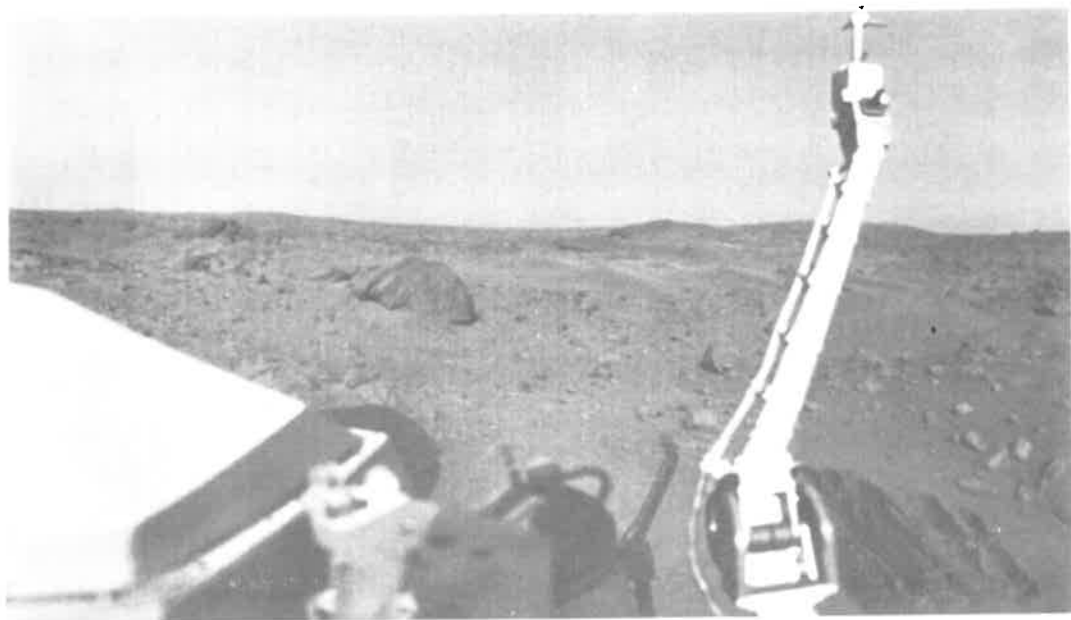


Fig. 9 - Environnement de la station Lander 1 de Viking 1, les sillons creusés par la pelle de la grue ont des bords nets montrant ainsi que le sol martien est dur.  
(photo NASA)

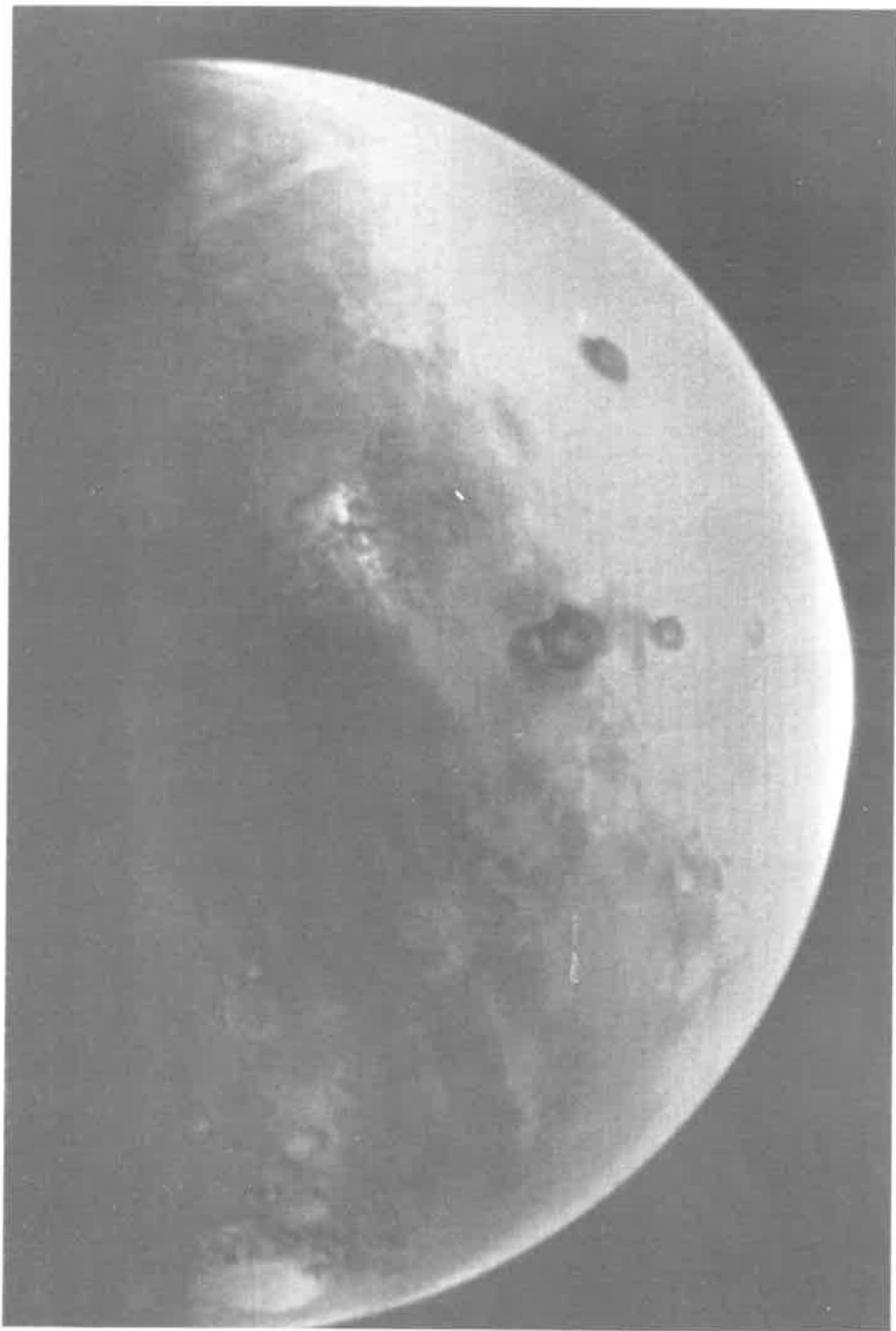


Fig. 10 - Grands volcans de Mars photographiés par Viking 1 à la distance de 570 000 km.  
(photo NASA)

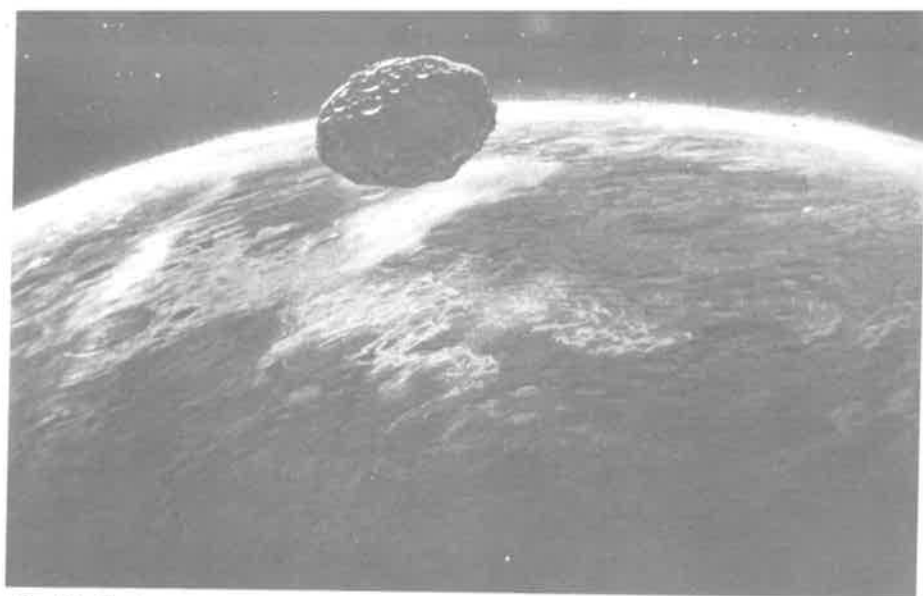


Fig. 11 - Phobos, satellite de Mars, orbite à 9 370 km de Mars.

*(photo NASA)*

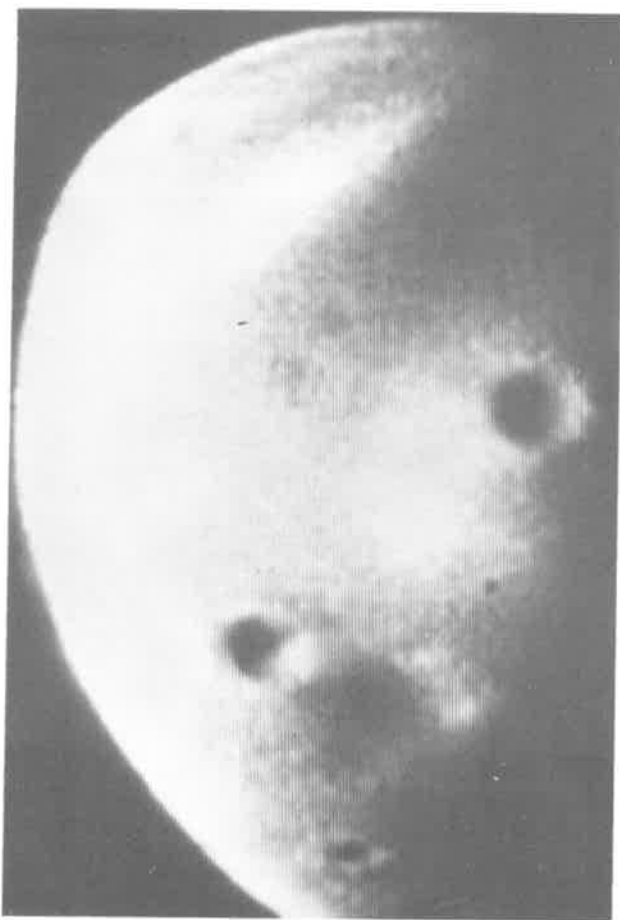


Fig. 12 - Deimos, satellite de Mars, orbite à 23 520 km de Mars.

*(photo NASA)*



Fig. 13 - Jupiter, l'anneau tracé autour de la planète est un dessin rajouté sur la photo transmise par Voyager 1.

*(photo NASA)*



Tableau III - Exploration spatiale de Mars

Sondes	Lancements	Résultats
Mars 1	1er novembre 1962	Passé muette à 193 000 km de Mars en avril 1963
Mariner 4	28 novembre 1964	Survole Mars à 9 850 km le 15 juillet 1965, transmet 19 photos (détails 3 km)
Mariner 6	24 février 1969	Survole la zone équatoriale de Mars à 3 400 km le 31 juillet 1969, transmet plus de 200 photos (détails 300 m)
Mariner 7	24 mars 1969	Survole les pôles à 3 200 km le 5 août 1969, transmet plus de 200 photos (détails 300 m)
Mars 2	19 mai 1971	Sa capsule de descente s'écrase sur Mars le 27 novembre 1971, ne transmet rien
Mars 3	28 mai 1971	Sa capsule de descente se pose en douceur sur le sol de Mars le 2 décembre 1971 et émet 20 sec. seulement
Mariner 9	30 mai 1971	Première satellisation autour de Mars le 14 novembre 1971, plus de 7 000 photos, émet jusqu'au 27 décembre 1972
Mars 4	21 juillet 1973	Passé à 2 200 km de Mars le 10 février 1974, une panne empêche sa mise sur orbite prévue
Mars 5	25 juillet 1973	Orbite autour de Mars à partir du 12 février 1974, photographie l'hémisphère sud jusqu'à début mars 1974
Mars 6	5 août 1973	Atteint le sol de Mars le 12 mars 1974, mais ne transmet pas
Mars 7	7 août 1973	Manque son atterrissage sur Mars le 9 mars 1974
Viking 1	20 août 1975	Atterrissage en douceur du laboratoire scientifique Lander 1 le 20 juillet 1976 Satellisation d'Orbiter 1, fonctionne jusqu'au 7 août 1980
Viking 2	9 septembre 1975	Atterrissage de Lander 2 le 3 septembre 1976 qui fonctionne jusqu'au 10 avril 1980, satellisation d'Orbiter 2 qui fonctionne jusqu'au 24 juillet 1978.

- placés dans un milieu riche en acides aminés et en composés minéraux, ils libèrent du gaz carbonique et de l'oxygène,

- mis en présence d'une «nourriture» (lactoses, formates, etc...) ils la décomposent et libèrent du gaz carbonique.

Par contre, les tests d'assimilation du carbone se sont révélés négatifs. Aucune substance organique n'a pu être décelée dans le sol de Mars, même dans l'échantillon prélevé sous une pierre, là où le sol se trouve préservé du rayonnement ultraviolet solaire destructeur de toute vie. Les expériences, effectuées par les laboratoires des sondes Viking, ont donc établi que *la vie n'existe pas sur Mars*.

Les températures, relevées par les sondes, oscillent entre  $-30^{\circ}\text{C}$  le jour et  $-95^{\circ}\text{C}$  la nuit.

La température de la calotte polaire boréale de  $-68^{\circ}\text{C}$  permet de déduire que cette région est constituée de glace d'eau et non de neige carbonique.

### Relief et topographie

Dès les premières photographies, transmises en 1965 par Mariner 4, le sol de Mars apparaît couvert de cratères se chevauchant les uns sur les autres. Certaines régions montrent, comme sur la Lune, de grands bassins dont l'un mesure 800 km de diamètre. Ces grands bassins résultent de l'impact de corps de quelques centaines de kilomètres qui se sont écrasés sur la planète au début de sa formation. Les pentes et l'intérieur de ces bassins présentent des cratères plus petits, résultant de collisions plus récentes.

L'existence de grands volcans à la surface de Mars a échappé à l'exploration des 3 premières sondes américaines, car celles-ci ont survolé la face de Mars où ne se trouve aucun volcan. Six grands volcans, aujourd'hui éteints, sont facilement repérables sur la figure 10 où leurs cratères se détachent en plus sombre sur les régions environnantes. Le plus grand volcan de Mars, le Mont Olympe domine de 25 km la plaine environnante, ce qui est énorme ! Le sommet du plus haut volcan terrestre, celui de Hawaï ne se situe qu'à 10 km du fond de la mer.

Les photographies du sol martien, prises par Mariner 9 ont aussi révélé l'existence de vallées étroites et sinueuses, semblables à des lits de rivière creusés par l'eau courante, telle la vallée Mariner de 4 300 km de long, large de 60 km et profonde de 1 km.

### Satellites

Les sondes Mariner 9 et Vikings ont photographié les 2 petits satellites de Mars. Phobos (fig. 11) a la forme d'un ballon de rugby dont la plus haute dimension mesure 24 km. Il tourne autour de Mars en 7 h 39 m. Il ne réfléchit que 5 % de la lumière qu'il reçoit du Soleil. C'est un des corps les plus sombres du système solaire. Sa surface présente un aspect bosselé dû à l'existence de nombreux cratères.

Deimos (fig. 12) de forme irrégulière et de couleur blanchâtre mesure 12 km dans sa plus grande dimension. On distingue quelques cratères sur sa surface. Ce satellite accomplit sa révolution autour de Mars en 30 h 17 m.

## JUPITER

C'est l'astre le plus brillant d'un ciel étoilé sans lune. Au foyer d'un télescope ou d'une lunette, Jupiter apparaît comme un disque dont le diamètre angulaire varie entre 32" et 47" suivant la position de la Terre par rapport à la planète. A côté de Jupiter, 4 petits points brillants s'alignent dans le plan équatorial, ce sont les 4 satellites galiléens, les plus gros du système jovien.

Jupiter présente un disque lumineux strié. Bandes sombres et zones claires, parallèles à l'équateur, alternent, richement colorées de bleu, de jaune, de brun et d'orange, comme le montrent avec plus de contraste les photographies prises de l'espace (fig. 13). Le déplacement de certains détails caractéristiques (taches, spirales, festons) a permis de déterminer la rotation de la planète. Les méthodes optiques puis radiométriques ont montré que toutes les parties ne tournent pas à la même vitesse ; près de l'équateur, la durée du jour jovien est de 9 h 50 m et aux latitudes plus élevées de 9 h 56 m. D'autre part, ces détails, quoique très longs à se former, sont variables avec le temps. Le record de longévité revient à la Grande Tache Rouge, premier détail décelé au 17<sup>e</sup> siècle par Cassini. La Grande Tache Rouge participe à la rotation de la planète avec une vitesse variable, tantôt elle avance par rapport à ce qui l'entoure, tantôt elle prend du retard.

La distance de Jupiter au Soleil varie en 741 et 816 millions de km. Jupiter domine toutes les planètes du système solaire par ses dimensions et sa masse. Son diamètre de 11,26 fois celui de la Terre lui donne un volume 1 338 fois supérieur à celui de la Terre. Un simple examen de la planète révèle un fort aplatissement aux pôles.

4 sondes ont jusqu'ici survolé Jupiter. Le tableau IV relate l'exploration spatiale de la planète géante la plus proche.

**Tableau IV - Exploration spatiale de Jupiter**

Sondes	Lancement	Survol	Distance minimale
Pioneer X	2 mars 1972	4 décembre 1973	131 400 km
Pioneer XI	6 avril 1973	3 décembre 1974	42 000 km
Voyager 1	5 septembre 1977	5 mars 1979	300 000 km
Voyager 2	20 août 1977	9 juillet 1979	650 000 km

### Physique actuelle de la planète

Dès les survols des 2 premières sondes Pioneer X et XI, la géométrie et la physique de la planète sont déterminées avec des précisions accrues :

- masse : 317,8 fois la Terre
- rayon équatorial :  $71\,404 \pm 6$  km
- rayon polaire :  $66\,812 \pm 2$  km
- température :  $-148^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$
- chaleur rayonnée :  $1,9 \pm 0,2$  fois la chaleur reçue du Soleil.

Les mesures infrarouges des régions polaires et équatoriales montrent que les pôles sont aussi chauds que l'équateur, ce qui prouve que l'atmosphère assure efficacement le transfert aux latitudes élevées de la chaleur solaire absorbée près de l'équateur ou, peut-être, que la source interne de chaleur occupe une position privilégiée près des pôles.

D'après les mesures de la quantité d'hélium, du champ gravitationnel et de la grandeur de la source chaude interne, les calculs théoriques conduisent à une température si chaude pour l'intérieur de Jupiter que l'hydrogène ne peut pas être solide, mais reste fluide.

*Jupiter est donc une planète essentiellement liquide et gazeuse composée principalement d'hydrogène.*

Le champ magnétique jovien s'étend dans l'espace jusqu'à 10 millions de km, bien au-delà de l'orbite de Callisto. Son intensité est environ 4 000 fois plus grande que celle du champ de la Terre. Son axe fait un angle de 11° avec l'axe de rotation. Lorsque Voyager 1 est passé derrière Jupiter, ses caméras ont ainsi pu photographier dans la nuit de l'hémisphère Nord une magnifique aurore boréale.

### L'anneau

Découvert par Voyager 1, cet anneau est si mince et formé de particules si ténues qu'il avait échappé à la détection des 2 premières sondes, bien que Pioneer XI l'ait traversé en 1974. Les anneaux principaux s'étendent entre 47 000 et 53 000 km au-dessus de l'atmosphère jovienne, soit une distance au centre de Jupiter de 1,8 fois le rayon jovien. Les Voyager ont discerné 2 anneaux principaux, l'un large de 5 000 km, l'autre plus brillant à l'extérieur du premier et large de 800 km. Leur épaisseur est inconnue mais ne dépasse pas 30 km.

## Les satellites

Les Voyager ont découvert 3 petits satellites, l'un entre l'anneau et Amalthée, les 2 autres entre Amalthée et Io ; leur diamètre ne dépasse pas 50 km.

Parmi les résultats les plus spectaculaires que nous ont apportés les sondes Voyager, il faut inscrire les remarquables clichés d'Amalthée et des 4 satellites galiléens Io, Europe, Ganymède et Callisto.

*Amalthée* découvert par Barnard en 1890, a une forme ellipsoïdale de 270 km par 155 km  $\pm$  8 km. Le grand axe pointe constamment vers Jupiter. De couleur rouge sombre, Amalthée réfléchit 2 fois plus de lumière rouge que de lumière ultraviolette. Ce petit satellite, à cause de sa forme irrégulière, possède une grande rigidité.

*Io* satellite galiléen le plus proche de Jupiter, a un diamètre de 3 640 km  $\pm$  10 km et une densité de 3,53 peu différents de ceux de la Lune. Les images de Io surprennent car elles révèlent de grands cratères volcaniques d'effondrement ou caldera aussi grands que ceux de Mars, entourés de coulées aux couleurs rouge, marron, jaune, dues au soufre. Io réserve de plus grandes surprises encore par les photographies de ses *volcans en activité*. Voyager 1 a enregistré 8 explosions volcaniques dont une très spectaculaire s'étendant à plus de 270 km de haut. Quatre mois après, cette grande explosion a complètement disparu et Voyager 2 n'enregistre à la surface de Io que les restes de 6 autres explosions. L'origine de l'activité volcanique résulte vraisemblablement des effets de marées qu'exercent Europe et Ganymède, provoquant des cassures dans la croûte de Io. L'énergie développée au moment de ces cassures engendre des explosions volcaniques. Les Voyager ont trouvé autour de Io une faible atmosphère de SO<sup>2</sup> de 10<sup>-7</sup> atmosphère.

*Europe*. Par son diamètre 3 130 km  $\pm$  10 km et sa densité 3,03, Europe, comme Io, est assez comparable à la Lune. Sa surface présente des parties brillantes et sombres. Les parties brillantes sont constituées de glaces, les sombres de glaces sales. De grandes traînées rectilignes, dont certaines ont plus de 1 000 km, zèbrent et quadrillent parfois ce satellite. Ces rayures résultent probablement des tiraillements dus aux effets de marée provoquée par les autres satellites galiléens. La croûte de glace très épaisse qui enveloppe Europe se fracture, l'eau liquide de l'intérieur remonte à la surface mal fermée formant de gros bourrelets semblables à des cicatrices, d'où l'aspect de ses structures rectilignes. Europe montre peu de cratères dans les petites régions sombres, ils sont de faibles dimensions, les trois plus grands atteignent 20 km de diamètre.

*Ganymède* dépasse en grosseur la planète Mercure, c'est le plus volumineux satellite de tout le système solaire (diamètre 5 270 km  $\pm$  10 km). Sa densité de 1,93 lui fait attribuer une composition formée par moitié de matériaux rocheux et d'eau. La surface de Ganymède, révélée par les caméras Voyager présente une grande diversité. Il y a de nombreuses aires sombres dont la plus grande s'étend sur près de 4 000 km. Cet ancien terrain, parsemé de cratères plus jeunes est un vaste bassin qu'entoure un système de crêtes parallèles, larges de 10 km et hautes de 100 m. Les régions plus claires de Ganymède montrent des montagnes et des vallées. Les crêtes des montagnes en lignes parallèles ou croisées ont généralement des largeurs de 10 à 15 km et des hauteurs de 1 000 m. L'âge des terrains s'évalue par la densité des cratères d'impacts météoriques. Les cratères les plus larges, de 150 km de diamètre, sont en général blanc avec des halos et des traînées également blancs, prouvant que les impacts ont projeté au loin de grandes quantités de glace.

Pendant le survol de Voyager 1, l'occultation de l'étoile Kappa Centauri par Ganymède n'a mis en évidence aucune atmosphère.

*Callisto* est comparable à Ganymède malgré ses dimensions plus petites (diamètre 4 848 km  $\pm$  10 km) et sa densité un peu plus faible 1,79. De couleur grise, elle est comme Ganymède, constituée de roches et de glace. Sa surface est criblée de cratères. Une grande tache circulaire de 600 km dans sa partie centrale résulte, sans doute, de l'impact d'une gigantesque



météorite. Les anneaux concentriques entourant ce bassin constitueraient la réponse de la croûte de glace aux ondes de choc, ils s'étendent sur plus de 1 000 km autour du bassin central.

Les figures 13 à 17 reproduisent les clichés de Jupiter et de ses 4 satellites galiléens, transmis par les sondes Voyager.

## SATURNE

La plus éloignée des planètes connues depuis l'Antiquité, Saturne compte parmi les plus beaux objets célestes que l'on puisse contempler à l'oculaire d'un télescope. De part et d'autre de l'équateur incliné de 29° sur l'orbite, un large anneau, coupé par une bande sombre appelée division de Cassini, entoure la planète. L'anneau visible a un diamètre apparent de 2,3 fois celui de la planète qui varie de 15" à 21" suivant la position de la Terre par rapport à Saturne. L'aplatissement des pôles est très important, le rayon équatorial dépasse le rayon polaire d'environ 1/10e. Comme Jupiter, l'atmosphère de Saturne présente aussi des bandes parallèles à l'équateur, mais plus légèrement colorées, au nombre de 6 par hémisphère et séparées par des zones plus claires. La distance de Saturne au Soleil varie entre 1 milliard 347 millions de km et 1 milliard 507 millions de km. Son diamètre, de 9,46 fois celui de la Terre, lui donne un volume 766 fois supérieur à celui de la Terre.

Trois des sondes qui avaient auparavant survolé Jupiter sont arrivées dans le voisinage de Saturne et nous ont abondamment renseignés. Le tableau V relate l'exploration spatiale de la deuxième planète géante.

Tableau V - Exploration spatiale de Saturne

Sondes	Survol	Distance minimale
Pioneer XI	1er septembre 1979	334 600 km
Voyager 1	12 novembre 1980	126 000 km
Voyager 2	26 août 1981	101 000 km

Les 3 survols de Saturne ont enrichi nos connaissances de plus de découvertes qu'en 3 siècles d'observations terrestres.

### Physique actuelle de la planète

Grâce à l'exploration spatiale, de nouvelles précisions sont acquises sur la géométrie et la physique de Saturne :

- masse : 95 fois celle de la Terre
- rayon équatorial : 60 741 km
- rayon polaire : 54 736 km
- densité par rapport à l'eau : 0,7
- rayonnement 2,5 fois la chaleur reçue du Soleil
- rotation 10 h 39 mn 27 s d'après les mesures radiométriques fournies par Voyager 1.

Citons quelques chiffres parmi l'abondante moisson recueillie : plus de 17 000 images transmises par les caméras de chaque Voyager et 60 000 spectres infrarouges ou ultraviolets.

Contrairement à ce qu'on avait cru après Pioneer XI et Voyager 1, Saturne n'est pas recouvert d'une couche de brume. Son atmosphère est particulièrement active et variable comme le montrent les différences de couleurs et d'aspects dans les 10 mois séparant les survols des Voyager 1 et 2. Voyager 2 a observé plus d'anticyclones et de tourbillons sous forme de taches rouges et blanches que Voyager 1.

Dans l'atmosphère de Saturne les Voyager ont découvert un long ruban ondulé, fait unique car un tel phénomène n'existe pas sur Jupiter.

L'atmosphère de Saturne se compose essentiellement de 89 % d'hydrogène moléculaire et de 11 % d'hélium. En plus des molécules de méthane et d'ammoniac, déjà détectées depuis la Terre, les sondes ont mis en évidence la présence de propane de méthylacétylène, de phosphine, d'éthane. La température du sommet des nuages est de  $-180^{\circ}\text{C}$  et à la base de la couche nuageuse de  $-113^{\circ}\text{C}$ .

Voyager 1 et 2 ont découvert des aurores polaires et des émissions radioélectriques.

Saturne possède une magnétosphère qui varie avec l'activité solaire et qui s'étendait au moment du passage de Voyager 2 à la distance de Titan. L'axe magnétique correspond à l'axe de rotation.

### Les Anneaux

Avant Pioneer XI, on avait repéré depuis la Terre 5 anneaux brillants A, B, C, D, E, suivant l'ordre chronologique de leur découverte et dans l'ordre D, C, B, A, E, suivant leur éloignement à la planète ; parmi eux 3 anneaux sombres, la division de Cassini séparant les anneaux A et B, la division d'Encke dans l'anneau A et la division France aperçue au Pic du Midi entre les anneaux B et C. Pioneer XI a découvert l'anneau F entre les anneaux A et E et, entre A et F, un anneau sombre, la division Pioneer.

Tableau VI - Les anneaux de Saturne

Désignation	Distance au centre de Saturne (km)	Remarques
Sommet des nuages	60 330	Rayon de Saturne
Anneau D limite intérieure	67 000	Très peu visible
Anneau C limite intérieure	74 400	
		Division France
Anneau B limite intérieure	91 900	
limite extérieure	117 400	Division de Cassini 4 500 km
Anneau A limite intérieure	121 900	
	133 400	Division d'Encke 200 km
limite extérieure	136 600	Division Pioneer
Anneau F centre	140 300	Stabilisé par satellites S13 et S14
Anneau G centre	170 000	Très peu visible
Anneau E limite intérieure	180 000 ?	Limite mal définie
limite extérieure	480 000 ?	Limite mal définie

Mais la plus grande découverte à mettre à l'actif des sondes Voyager reste de nous avoir fait connaître la structure fine des anneaux. Les images transmises révèlent des milliers d'anneaux dont l'ensemble apparaît comme un vaste microsillon entourant Saturne. Les photographies de ces anneaux, publiées dans la presse, permettent à chacun d'entre nous d'en compter une bonne centaine (fig. 18). La division de Cassini n'est pas vide, la figure 18 y montre assez bien 5 petits anneaux brillants. Les corps qui constituent ces anneaux sont des

particules de glace sale plus ou moins grosses, allant de quelques micromètres dans les anneaux D, E, F à un mètre environ dans l'anneau C, 8 m dans la division de Cassini et 10 m dans l'anneau A. Le diamètre des constituants de l'anneau B n'est pas précisé, il serait supérieur à ceux de l'anneau A.

La largeur des anneaux, déterminée d'abord par Pioneer XI, est connue maintenant avec une bonne précision après le passage des Voyager (tableau VI).

L'anneau B présente parfois des proéminences au-dessus du plan de l'anneau sous forme de plumes, de doigts de gant. Les particules soulevées probablement par le champ magnétique de la planète, sont responsables de ces plumes que l'on a vues naître en 8 heures de temps avec Voyager 2.

L'anneau F apparaît formé de 3 petits anneaux distincts et entrelacés. Les 2 petits satellites S13 et S14, découverts par Voyager 1, gravitent de part et d'autre de l'anneau F ; ils servent de chiens de garde aux particules qui les constituent en empêchant leur expansion.

Le disque des anneaux a une épaisseur très faible, de l'ordre de 1,8 km.

### Satellites

Avant 1978, Saturne comptait 10 satellites connus et numérotés (tableau VII). Le satellite 10 Janus, trouvé par Dollfus en 1966 n'a pas été identifié par les Voyager, son existence est mise en doute. Donc depuis 1898, Saturne possédait 9 satellites reconnus.

Entre 1978 et 1980, 3 petits satellites de dimension d'une centaine de kilomètres furent découverts à partir d'observations du sol terrestre : 2 par des astronomes américains, S10 et S11, entre les anneaux F et G, un par des astronomes français S12, désigné encore sous le nom de Dioné B car ce petit satellite gravite très près de l'orbite de Dioné.

Voyager 1 a découvert 3 satellites circulant dans les anneaux : S15 dans l'anneau A, S13 et S14 de part et d'autre de l'anneau F. Voyager 2 a mis en évidence 2 satellites situés entre les orbites de Thétyts et de Dioné.

Après étude des documents fournis par les Voyager, 4 ou peut-être 6 autres satellites gravitent autour de Saturne portant à 21 ou à 23 le nombre de lunes saturniennes. Voyager 1 a observé en détail 10 satellites et Voyager 2, 17.

#### - Petits satellites inconnus jusqu'alors

Tous possèdent des formes irrégulières et des dimensions comprises entre 30 et 200 km. Ils portent tous des traces d'impacts de bombardements météoritiques.

#### - Satellites historiques

A l'exception de Titan, les 6 plus gros satellites de Saturne ont des densités s'échelonnant entre 1,0 et 1,4, qui permettent de déduire qu'ils sont constitués principalement de glace d'eau. A la température voisine de  $-200^{\circ}\text{C}$  à la distance de Saturne, la glace devient aussi dure que le rocher.

**Mimas.** Un immense cratère large de 135 km occupe un tiers de la surface de l'hémisphère nord. Les bords de ce cratère s'élèvent à une altitude de 10 km et le piton central à 8 km. Il est dû à l'impact d'une météorite géante qui a failli fracturer Mimas. L'hémisphère Sud apparaît comme un fouillis de cratères plus petits.

**Encelade** est un peu plus gros que Mimas. Photographié par Voyager 2 le 25 août 1981, sa surface ressemble à celle du satellite de Jupiter, Ganymède.

**Thétyts.** De dimensions comparables à Cérès (la plus volumineuse des petites planètes circulant entre Mars et Jupiter), possède une face sombre et une face brillante, ainsi que l'avait

imaginé Cassini dès 1684 en observant ses variations périodiques d'éclat.

Un cratère de 400 km de diamètre résulte d'une collision avec une gigantesque météorite qui a failli rompre ce satellite.

Tableau VII - Satellites de Saturne

Découverte	Auteurs	Noms	Distance au centre de Saturne (km)	Période (heure ou jour)	Diamètre (km)	Densité Eau = 1
1980	Voyager 1	S15	137 670	14 h 26 m	40 x 20	?
1980	Voyager 1	S14	139 350	14 h 43 m	140 x 100 x 80	?
1980	Voyager 1	S13	141 700	15 h 05 m	110 x 90 x 70	?
1980	Cruiksand	S10	151 422	16 h 40 m	140 x 120 x 100	?
1978	Fountain & Larson	S11	151 472	16 h 41 m	220 x 200 x 160	
1789	Herschell	S1 Mimas	185 540	22 h 40 m	390 ± 6	1,19 ± 0,05
1789	Herschell	S2 Encelade	238 040	1,390 j	500 ± 20	1,2 ± 0,4
1684	Cassini	S3 Thétys	294 670	1,880 j	1 060 ± 20	1,21 ± 0,16
1980	Smith & col.	S16	294 670	1,880 j	34 x 28 x 26	?
1980	Télescope spatial	S17	294 670	1,880 j	34 x 22 x 22	?
1684	Cassini	S4 Dioné	377 420	2,737 j	1 020 ± 10	1,43 ± 0,06
1980	Laque et Lecacheux	S12 (Dioné B)	379 060	2,738 j	36 x 32 x 30	?
1672	Cassini	S5 Rhéa	527 100	4,517 j	1 530 ± 10	1,33 ± 0,09
1655	Huygens	S6 Titan	1 221 860	15,94 j	5 150 ± 4	1,88 ± 0,01
1848	Bond	S7 Hypérion	1 481 000	21,27 j	510 x 260 x 220	?
1671	Cassini	S8 Japet	3 560 000	79,41 j	1 460 ± 20	1,16 ± 0,09
1898	Pickering	S9 Phoebé	12 954 000	550,4 jR*	220 ± 20	?

\*R : rétrograde

*Dioné.* Légèrement moins gros que Thétys, montre comme lui une face sombre et une face brillante, ainsi que de nombreux cratères dont les plus importants atteignent 100 km de diamètre.

*Rhéa.* De taille encore plus importante que Thétys, a un diamètre voisin de la moitié de celui de la Lune. Comme sur Dioné, les plus grands cratères couvrent une surface de 100 km de diamètre mais les cratères beaucoup plus nombreux sont si serrés que Rhéa apparaît comme un des plus vieux corps du système solaire avec Callisto et la Lune.

*Titan.* Longtemps considéré comme le plus gros satellite du système solaire, n'occupe depuis les missions Voyager que la 2e place après Ganymède. Titan est le seul satellite à posséder une atmosphère connue depuis plus d'un demi-siècle. Voyager 1 s'est approché de Titan à près de 4 000 km. Les images transmises lors de ce passage si proche ont déçu car l'atmosphère cache le sol de Titan. Celui-ci, comme la planète Vénus, se drape dans ses brumes.

Cependant, cette atmosphère épaisse, avec une pression deux fois plus élevée que celle de la Terre, a causé bien des surprises. Les spectres obtenus en ultraviolet ont prouvé que, comme la Terre, Titan possède une atmosphère d'azote mélangée à 10 % d'argon, 1 % de méthane et des traces d'hydrocarbures, d'acide cyanidrique, d'éthane, de propane. D'après les mesures infrarouges, la température du sommet des nuages atmosphériques, extrêmement basse, ne dépasse pas  $-200^{\circ}\text{C}$ . Titan apparaît donc comme «une terre mise au congélateur» ou «un monde en froid profond».

*Hypérior* est un satellite de forme très allongée (500 km dans sa plus grande dimension), avec une surface très cratérisée. Il ne présente pas toujours la même face à Saturne.

*Japet*. Gros satellite de Saturne, de dimensions un peu plus petites que Rhéa, possède comme Thétys et Dioné une face sombre et une face brillante. Voyager 2 a montré un hémisphère brillant couvert de cratères et un autre six fois plus sombre.

*Phoébé*. Dont l'orbite se situe à près de 215 rayons saturniens du centre de la planète, est le satellite le plus lointain de Saturne. De petite taille, Phoébé paraît avoir une forme allongée, il présente une face très sombre qui réfléchit moins de 5 % de la lumière solaire.

## URANUS

L'astre, découvert par Herschell le 13 mars 1781, gravite sur une trajectoire presque circulaire, située dans un plan peu différent de celui de l'écliptique et à une distance du Soleil de 19 fois le rayon de l'orbite terrestre. Uranus se trouve donc à une distance 2 fois plus éloignée du Soleil que Saturne. C'est la 7e planète du système solaire, inconnue de l'Antiquité et découverte la première depuis l'avènement des temps modernes.

Son diamètre apparent toujours inférieur à 4" est celui d'un disque, de couleur vert bleuté, obscurci sur les bords. Son diamètre réel la classe parmi les planètes géantes, il égale 3,7 fois celui de la Terre. Sa densité de 1,7 fois celle de l'eau permet de penser que la constitution d'Uranus ressemble à celle de Jupiter et de Saturne. L'hydrogène en serait le principal constituant, mais les éléments plus lourds se trouveraient en plus grande abondance que dans Jupiter ou Saturne. Les spectres, obtenus depuis la Terre, montrent la présence de méthane et d'ammoniac.

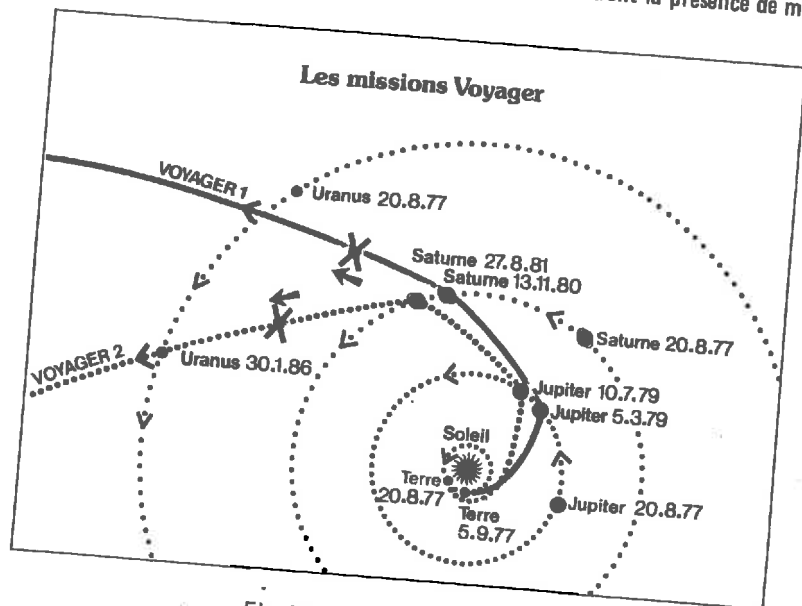


Fig. 19 - Les missions Voyager.

Comme Vénus, la rotation d'Uranus est rétrograde. Uranus tourne sur elle-même en 10 h 42 m. Elle est la seule planète du système solaire à avoir son axe de rotation presque confondu avec son plan orbital. Par conséquent, Uranus présente toujours au Soleil le même hémisphère Nord.

Uranus, comme Jupiter et Saturne, possède un système d'anneaux, dont nous avons relaté plus haut la découverte.

Cinq satellites tournent autour d'Uranus à des distances comprises entre 5,5 et 25 rayons de la planète ; leurs périodes de révolution s'échelonnent entre 1,4 et 13,5 jours.

L'exploration spatiale d'Uranus commencera en janvier 1986 avec le passage de Voyager 2 dans son voisinage (fig. 19).

## NEPTUNE

Sa découverte est un triomphe de la mécanique céleste, appliquée aux calculs de la trajectoire d'Uranus. Adams, en Angleterre et Le Verrier, en France, résolurent, indépendamment l'un de l'autre, le problème des perturbations d'Uranus en supposant l'existence d'une planète transuraniennne. Le 18 septembre 1846, Le Verrier communiqua à l'astronome allemand Galle la position que devait occuper cette planète dans le ciel, si celle-ci existait. Le 23, Galle examina la région du ciel indiquée et trouva à moins de 1° un astre brillant non porté sur la carte. Deux jours plus tard, l'astre s'était légèrement déplacé par rapport aux étoiles de champ. C'était la planète Neptune.

D'éclat 7,7, Neptune n'est visible qu'avec un instrument astronomique. Il apparaît alors comme un petit disque bleuâtre, de diamètre apparent 2"5, aux bords nettement assombris.

Neptune se situe à 20 U.A. du Soleil, il en est 3 fois plus éloigné que Saturne. Ses dimensions, quoique plus petites, sont comparables à celles d'Uranus ; son diamètre équivaut à 3,5 fois celui de la Terre. Sa masse a pu être calculée avec une grande précision grâce au mouvement de son principal satellite ainsi qu'aux perturbations infligées à la trajectoire d'Uranus. Son spectre présente les bandes d'absorption du méthane. La rotation de Neptune sur lui-même s'effectue en 15 h 48 m, d'après les évaluations des mesures spectroscopiques.

Neptune possède 2 satellites. Le plus gros, Triton, découvert le 10 octobre 1846 par Lassell, a sans doute, des dimensions comparables à celles de la planète Mercure. La masse de Triton est 2 fois supérieure à la masse de la Lune. Le plus petit Néréide, découvert par Kuiper en 1949 avec le télescope de 5 m du Mont Palomar a un diamètre qui peut atteindre 200 km. Triton tourne autour de Neptune en moins de 6 jours, Néréide en presque un an.

Voyager 2 passera au plus près de Neptune le 24 août 1989.

## PLUTON

La présence de Neptune seul n'explique pas entièrement les perturbations d'Uranus. D'autre part, la trajectoire de Neptune présente elle aussi des anomalies. Pour expliquer les écarts entre les trajectoires observées et calculées d'Uranus et de Neptune, Lowell puis Pickering appliquèrent à une planète transneptunienne les méthodes de calcul analogues à celles utilisées pour la découverte de Neptune. Ils estimèrent à 7 masses terrestres la masse de la planète inconnue. Lowell, dès 1906, recherche activement cette 9e planète avec les télescopes de Flagstaff. En 1914, Lowell publie ses calculs. En 1919, Pickering trouve une solution peu différente de celle de Lowell, il fait photographier par Humason la région du ciel supposée contenir la planète. Pluton figure sur ces clichés mais n'est pas décelé. Ce n'est qu'en janvier 1930 que Tombaugh, après examen de plusieurs centaines de clichés, découvre Pluton, petit point brillant de 15e grandeur.

Pluton décrit autour du Soleil une ellipse de forte excentricité. Sa distance au Soleil varie de 29,9 U.A. à 50 U.A. Au périhélie sa distance est inférieure à celle de Neptune.

En 1950, Kuiper et Humason avec le télescope de 5 m du Mont Palomar mesurent le diamètre apparent de Pluton. Ils trouvèrent le même résultat 0"5. Les mesures photométriques de Pluton mettent en évidence des variations périodiques d'éclat de 6,3 jours.

Mais l'absence de satellite reconnu autour de Pluton empêche de connaître sa masse avec certitude.

Ce n'est qu'en 1978 que les astronomes américains Christy et Harrington découvrent enfin le satellite Charon sous la forme d'une excroissance sur la très petite tache ronde de Pluton qui se déplace en 6,3 jours, durée égale à celle de Pluton sur lui-même. Charon est donc un satellite plutostationnaire.

Charon découvert, la masse de Pluton est alors calculée à 1/400e de la masse de la Terre, soit à 1/4 de celle de la Lune. Foy et Bruneau de l'Observatoire de Meudon réussissent en 1980 à déterminer les caractéristiques complètes du système Pluton-Charon par la technique de pointe des tachesures ou «spekle photometry». Ils calculent alors le rayon de Pluton (2 000 km), le rayon de Charon (1 000 km), la distance entre Pluton et Charon (20 000 km).

Si Pluton est une planète plus petite que Mercure, Charon est un gros satellite pour une si petite planète. Pluton et Charon sont comme deux petits frères qui tournent comme s'ils étaient tenus par une tige. Pluton tourne sur lui-même pendant que Charon décrit autour de lui pendant le même temps un cercle de 20 000 km de rayon.

La connaissance de la masse et du rayon de Pluton conduit à une densité de 0,6, ce qui en fait aux erreurs de mesures près, la planète la plus légère du système solaire après avoir passé pendant quelques dizaines d'années pour la plus dense !

Avec une si faible masse pour Pluton, les perturbations d'Uranus et les irrégularités de l'orbite de Neptune restent à expliquer.

Existe-t-il une autre planète transneptunienne ? Probablement oui.

## BIBLIOGRAPHIE

L'abondance des documents consultés ne me permet pas de les citer tous nominalement.

### *Articles publiés dans les revues :*

Espace et Information n° 9, 10, 11, 12, 16, 18, 19.

Ciel et Terre 1975 90 p. 269, 1976 92 p. 275, 1977 93 p. 233, 1978 94 p. 324 et p. 416, 1979 95 p. 30, p. 231 et p. 269, 1980 96 p. 365, 1981 97 p. 207, 275 et 283.

L'Astronomie 1977 91 p. 3 et p. 233, 1978 92 le numéro de janvier, 1980 94 pp. 467-499.

La Recherche 1981 12 n° 118 p. 96 et p. 290, n° 124 p. 1302, 1982 13 n° 131 p. 413, 1983 14 n° 140 p. 99.

Science 29 janvier 1982, pp. 503-519.

Pour la Science 1982 - Avril, pp. 48-59.

Les Cahiers de Clairault n° 11, pp. 3-9.

Pulsar Janvier 1981 - pp.3-4.

Lunar and planetary information - Bulletin n° 28/29-30.

### *Les ouvrages*

- |                          |   |
|--------------------------|---|
| A. HAYLI                 | 1980 - L'histoire de l'Univers - Hachette.          |
| G. ISRAEL                | 1977 - L'exploration du système solaire - Hachette. |
| D. MORRISON & J.S. SONNZ | 1980 - Voyage to Jupiter - NASA SP 439.             |
| T.A. MUTCH & K.J. JONES  | 1977 - The Martian Landscape - NASA SP 425.         |
| C.R. SPITZER             | 1980 - Viking Orbiter Views of Mars - NASA SP 441.  |



● La **SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE DE LYON** a pour but la diffusion de l'Astronomie et des Sciences qui s'y rapportent.

● Pour être membre de la Société et recevoir le bulletin, il faut verser une cotisation annuelle dont le montant est laissé libre. Toutefois, pour couvrir les frais de fonctionnement et de bulletins, en 1983-84, un minimum a été fixé à 80 F pour les adultes et 50 F pour les scolaires (jusqu'à 16 ans).

Deux tiers de la cotisation correspondent aux frais des bulletins, un tiers aux frais de la Société.

● Les activités de la société comportent :

1- Une série de conférences publiques et gratuites (10 par an). A ces conférences, les sujets sont présentés avec simplicité pour être compris par tous ; la plupart sont illustrées par la projection de vues fixes ou de films.

2- Des visites d'établissements scientifiques, observatoires ou autres en juin, juillet.

3- Un bulletin trimestriel comportant le résumé des conférences et des activités de la Société.

4- Des bulletins hors série sur l'initiation à l'Astronomie ou des sujets d'intérêts permanents, par exemple : guide d'acquisition des instruments d'observation ; cadrans solaires ; cartes du ciel.

5- Un cours d'été d'initiation à l'Astronomie d'une semaine à une soixantaine de kilomètres de Lyon pour tous les âges.

6- Enfin, la Société Astronomique de Lyon possède un **Groupe d'Astronomie Pratique** destiné à ceux qui désirent participer plus activement à l'étude du ciel. Il faut être membre de la Société.

Ce groupe se réunit à l'Observatoire de Lyon les vendredis de 21 h à 23 h d'octobre à mars et de 22 h à 24 h d'avril à septembre. Il possède une bibliothèque et dispose de télescopes. Les jours où les conditions atmosphériques ne permettent pas l'observation, celle-ci est remplacée par une discussion sur des sujets astronomiques.

Le Président.



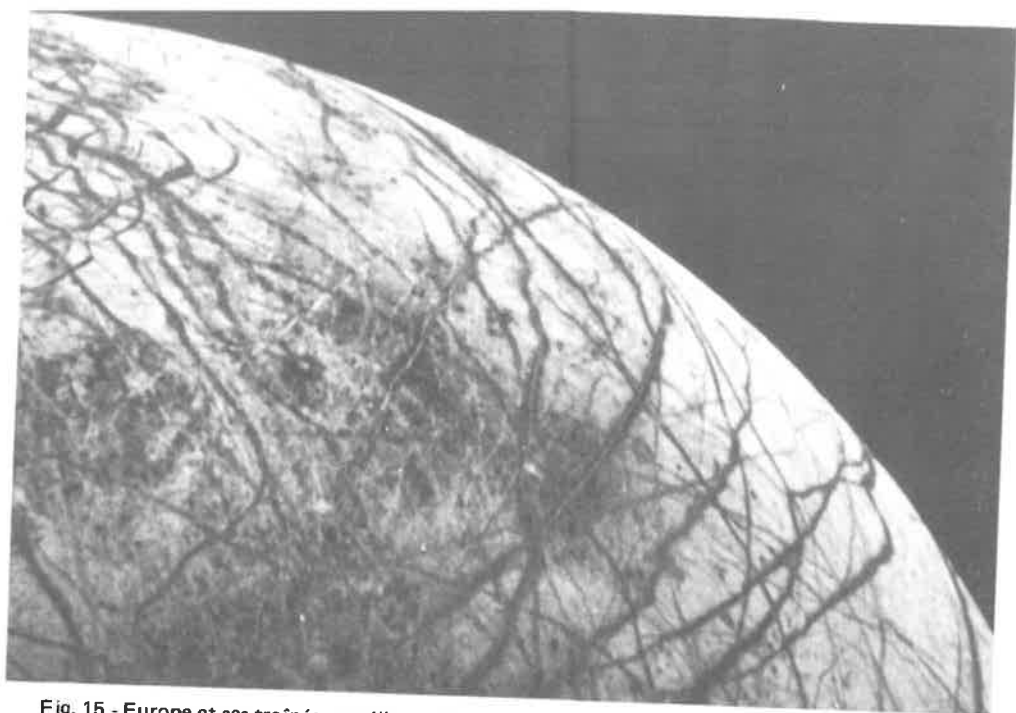


Fig. 15 - Europe et ses traînées rectilignes. Europe orbite à 671 000 km de Jupiter.

*(photo NASA)*

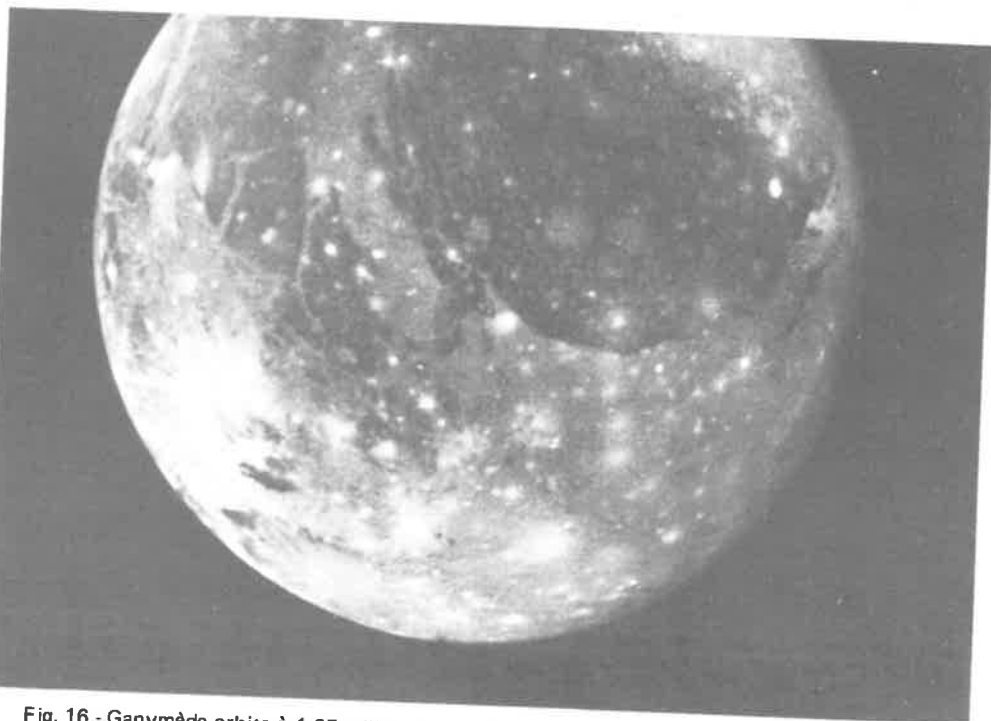


Fig. 16 - Ganymède orbite à 1,07 million de km de Jupiter.

*(photo NASA)*



Fig. 17 - Callisto orbite à 1,88 million de km de Jupiter.

*(photo NASA)*

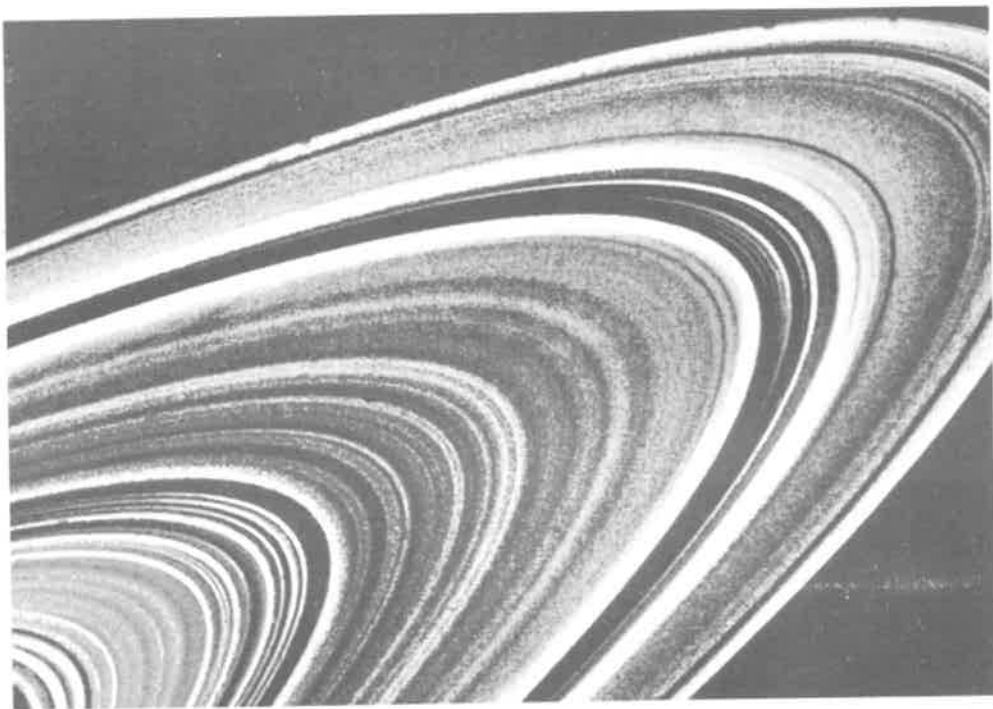


Fig. 18 - Les milliers d'anneaux de Saturne d'après l'image transmise par Voyager 1.

*(photo NASA)*