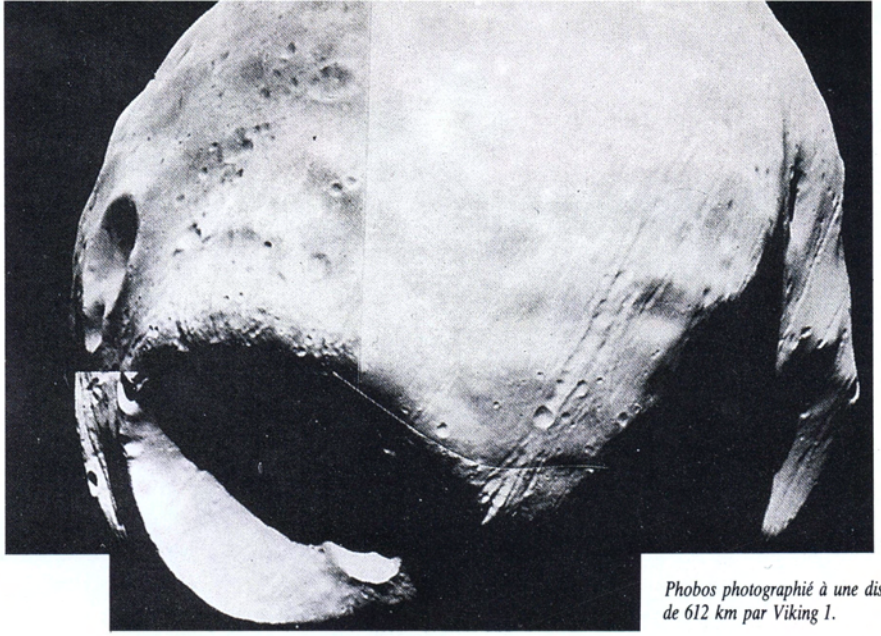

Objectif... Phobos

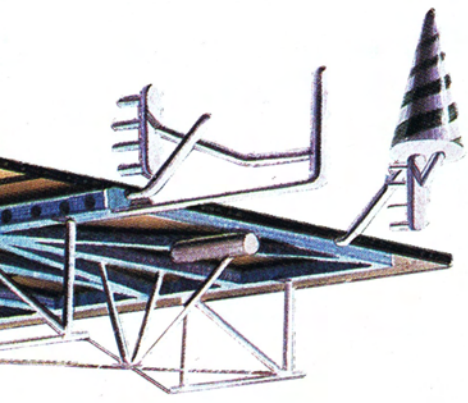
Phobos



Phobos photographié à une distance de 612 km par Viking 1.

La mission spatiale soviétique PHOBOS est une des prochaines missions d'exploration du Système Solaire. L'Institut de Recherches Spatiales (IKI) à Moscou en est le maître d'œuvre. Sur le plan international, c'est la première action d'envergure conduite depuis le succès des sondes VEGA et GIOTTO en mars 1986 lors du survol de la comète de Halley. Plus d'une douzaine de pays sont impliqués dans la réalisation de la charge utile scientifique.

Cette mission de planétologie est consacrée à l'étude de la planète Mars et de son environnement, de son satellite naturel Phobos qui a donné son nom à l'expédition, du soleil, et du milieu interplanétaire. La grande originalité de cette mission réside surtout dans ce premier rendez-vous avec Phobos, que l'on pense être un astéroïde capturé par Mars. Lors du survol de Phobos, deux véhicules autonomes doivent se séparer de la sonde principale afin de pratiquer des observations scientifiques à la surface du satellite. L'un, le DAS, doit aller s'ancrer au sol pour une longue période; l'autre, la Grenouille, à l'existence plus brève, pourra se déplacer par bonds. Cette étude in situ est d'un intérêt majeur car il est possible que Phobos soit un corps primitif du Système Solaire, c'est-à-dire un des vestiges de la population d'objets à partir desquels se sont construites les planètes.



Par ailleurs le contexte spatial actuel donne un nouvel éclairage à cet autre aspect de la mission qui est l'étude de Mars. L'exploration de cette planète, qui avait débuté avec les sondes américaines Mariner et Viking et les sondes soviétiques Mars, s'était interrompue depuis une dizaine d'années. Le lancement de la sonde PHOBOS marque donc une nouvelle étape. Au delà de l'intérêt scientifique intrinsèque que peut représenter pour la planétologie comparée un corps possédant une palette fournie de phénomènes planétaires : activité géologique modifiée par le vent, l'eau, et les glaces, atmosphère active, variations climatiques ... Mars est devenue pour les grandes agences spatiales un enjeu important de la conquête de l'espace.

Ainsi, le futur programme soviétique d'exploration planétaire prévoit d'étudier en plusieurs étapes la planète rouge. Ce programme qui s'étalera du début des années 90 jusqu'à la fin du siècle permettra une étude systématique à partir de sondes orbitales, de ballons et de véhicules mobiles à la surface pour la première étape (1992-94), pour s'achever vers l'an 2000 par un retour sur Terre d'échantillons du sol de Mars. Les Etats-Unis ont également décidé d'envoyer un orbiteur autour de Mars en 1992 et se préparent à une mission de retour d'échantillons pour la fin du siècle.

La sonde spatiale PHOBOS qui doit être lancée en juillet 1988 appartient à une nouvelle génération de véhicules spatiaux. Une trentaine d'expériences, conçues dans un large contexte international : Union Soviétique, Agence Spatiale Européenne, Finlande, France, Hongrie, Pologne, République Démocratique Allemande, Max planck Institut (RFA), Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, sont placées à bord. Les laboratoires français, soutenus par le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), participent dans le cadre de la coopération franco-soviétique à plusieurs d'entre elles. Le CNES participe également aux opérations de navigation.

En définitive, outre le caractère exceptionnel et spectaculaire de sa rencontre avec un satellite, la mission PHOBOS apparaît comme une mission d'étude détaillée du système Martien. La moisson de données qui en résultera devrait être riche d'enseignements pour les futures expéditions vers Mars.

PHOBOS

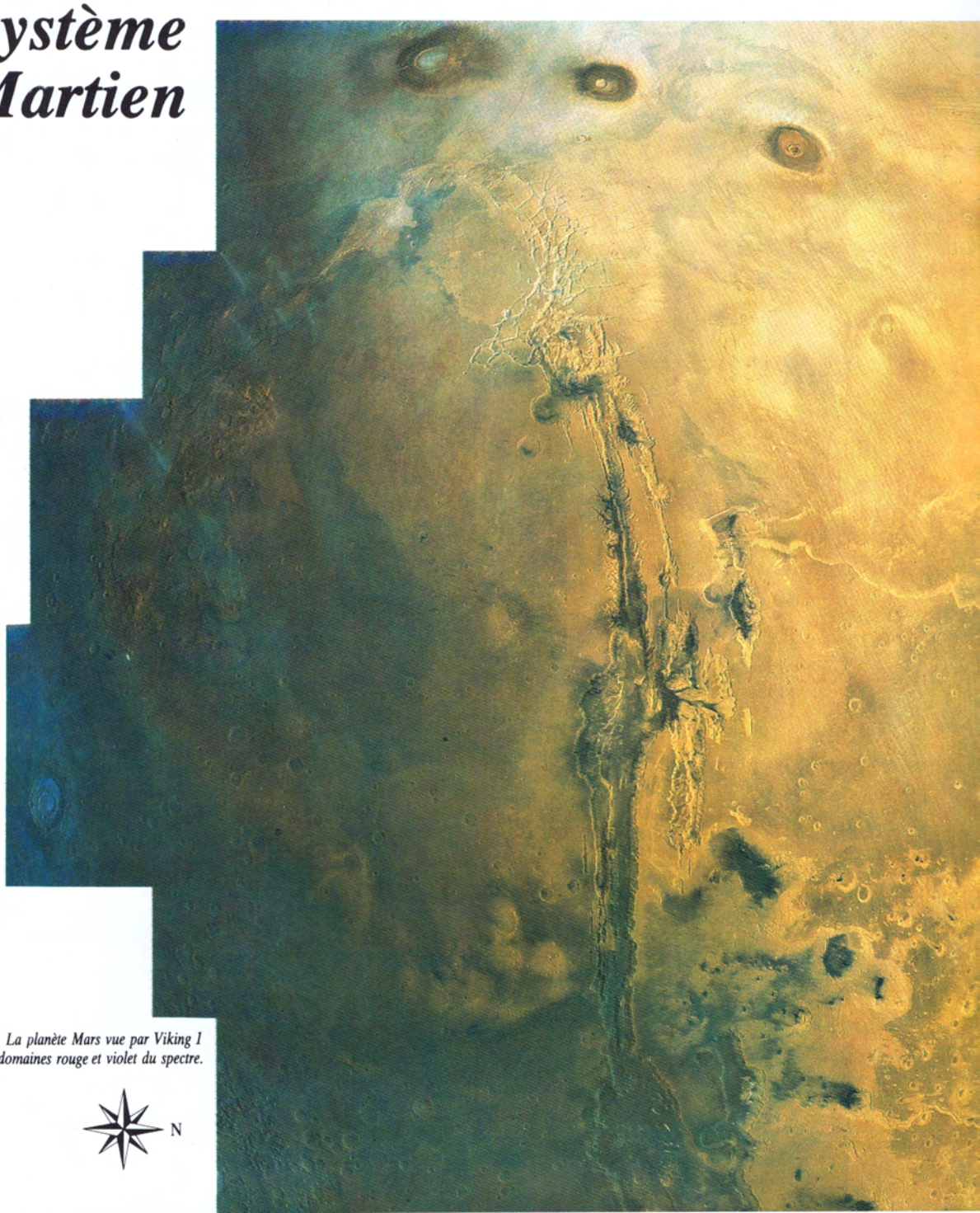


Le Système Martien

Mars, la quatrième planète du système Solaire et ses satellites Phobos et Deimos ont été étudiés dans le passé par plusieurs sondes spatiales. Comparée à la Terre, Mars est, avec un rayon de 3400 km, deux fois plus petite; sa masse est dix fois moins importante, et sa densité est 0,8 fois plus faible. C'est un corps solide différencié, formé d'une croûte d'environ 5 km, ou plus, d'épaisseur, d'un manteau riche en olivine et en oxyde de fer, et d'un noyau métallique de 1500 km à 2000 km de rayon. Son champ magnétique, s' il en possède un, est très faible.

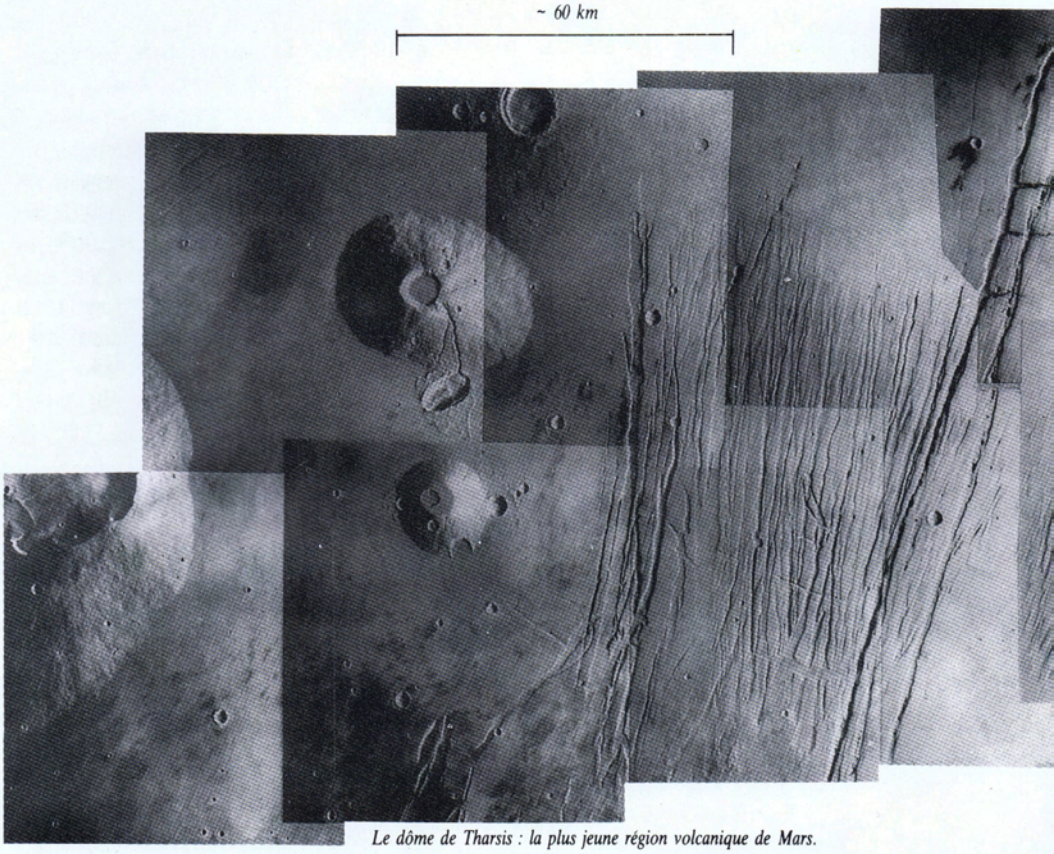
La planète a été photographiée avec une résolution de l'ordre de la centaine de mètres (quelques mètres à l'équateur) par l'orbiteur Américain Viking et révèle tout un éventail de phénomènes géologiques. Par exemple, apparaissent de multiples signes d'une érosion par l'eau. Un des points les plus intrigants est la dissymétrie entre les deux hémisphères : l'hémisphère Sud présente de nombreux impacts météoritiques alors que l'hémisphère Nord montre des plaines plus jeunes et peu cratérisées. L'élément de relief le plus notable est le mont Olympus qui, avec ses 27 km au dessus des plaines environnantes, est le plus grand volcan connu à ce jour dans le Système Solaire.

L'année martienne est deux fois plus longue que l'année terrestre. L'inclinaison de la planète sur l'écliptique est de 25° et son orbite est très excentrique, ce qui rend la durée des saisons inégales. L'atmosphère, ténue, est composée majoritairement de gaz carbonique; les principaux autres composés sont l'azote et l'argon.

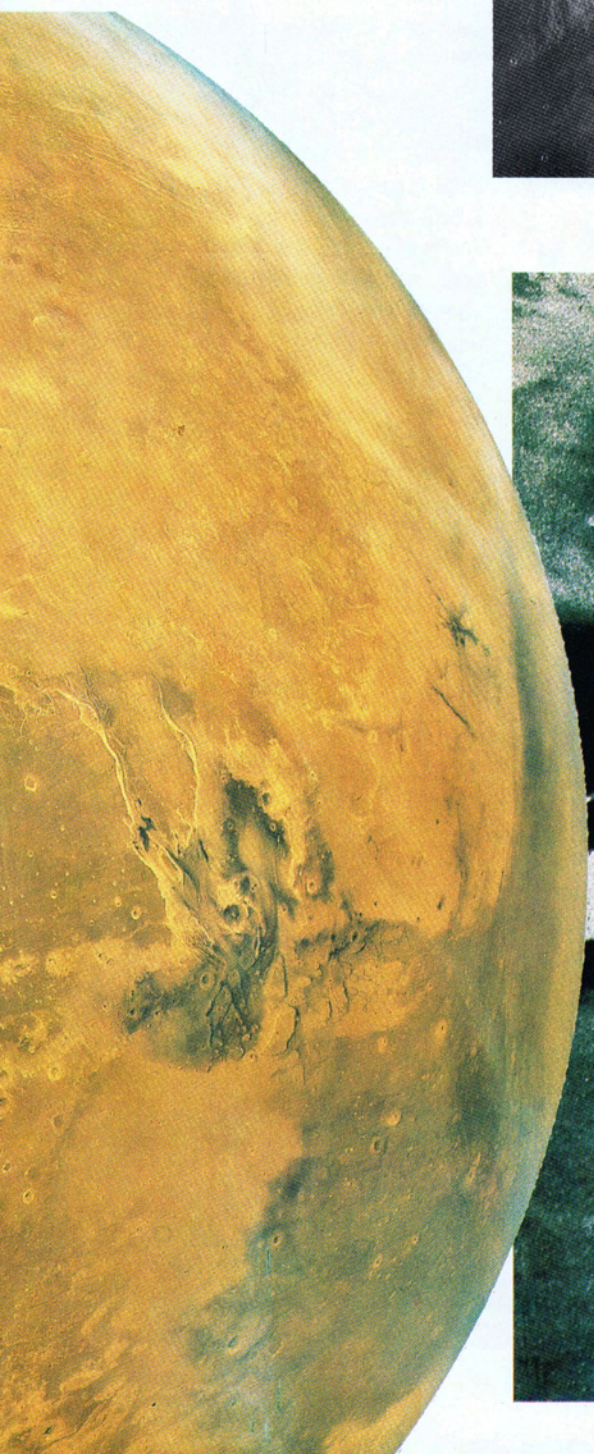


La planète Mars vue par Viking 1 dans les domaines rouge et violet du spectre.

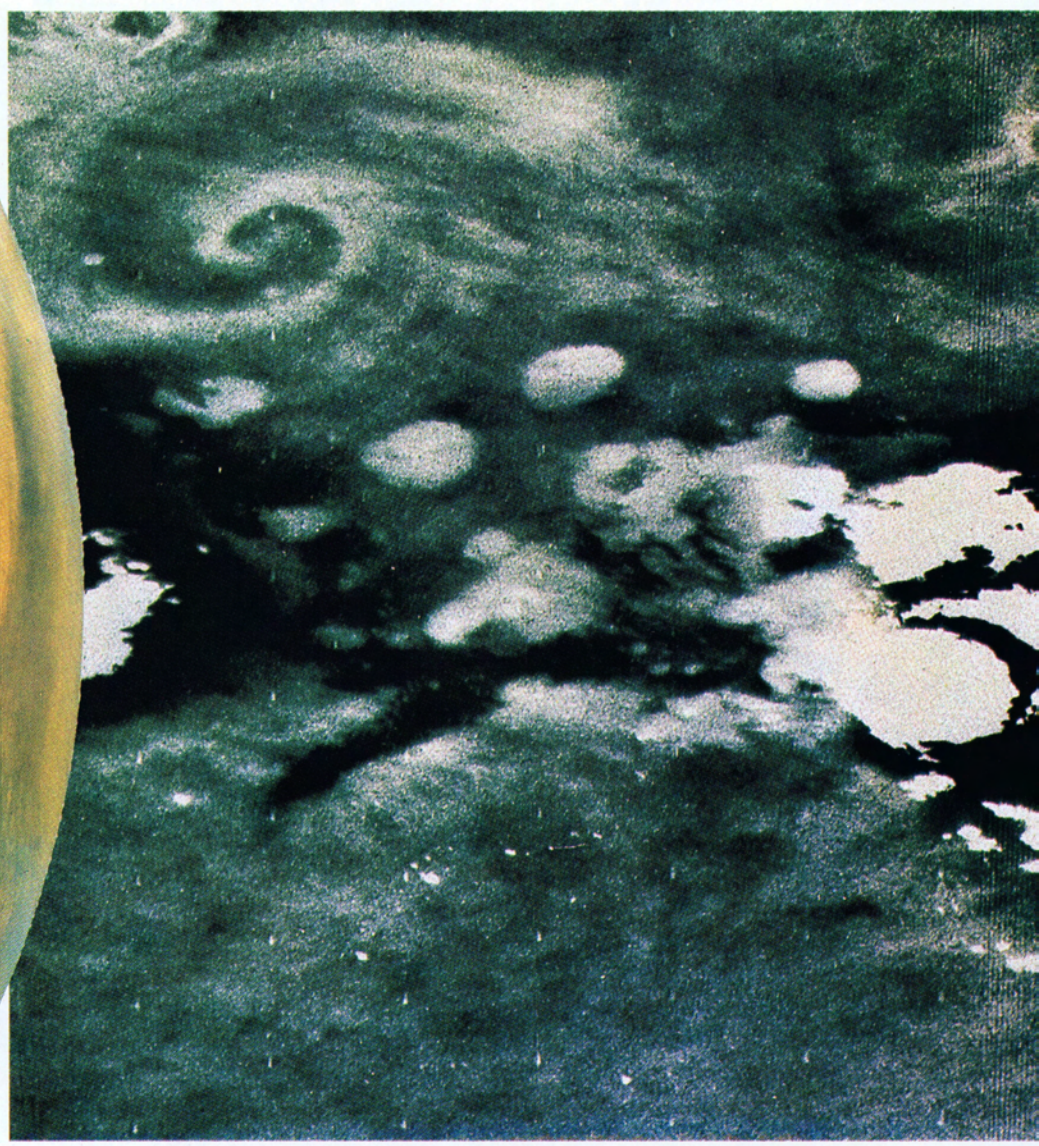
La pression au sol (7 millibars en moyenne de gaz carbonique) subit une grande fluctuation saisonnière du fait de la condensation du gaz carbonique sur la calotte polaire se trouvant à l'ombre (Nord en hiver boréal, Sud en été boréal). Ces variations entraînent un régime de vents, qui peuvent être localement assez violents pour soulever des tourbillons de poussières. D'autres phénomènes météorologiques, liés à la présence d'eau et de gaz carbonique, sont les nuages, les brumes matinales, les dépôts de givre, et les formations cycloniques.



Le dôme de Tharsis : la plus jeune région volcanique de Mars.



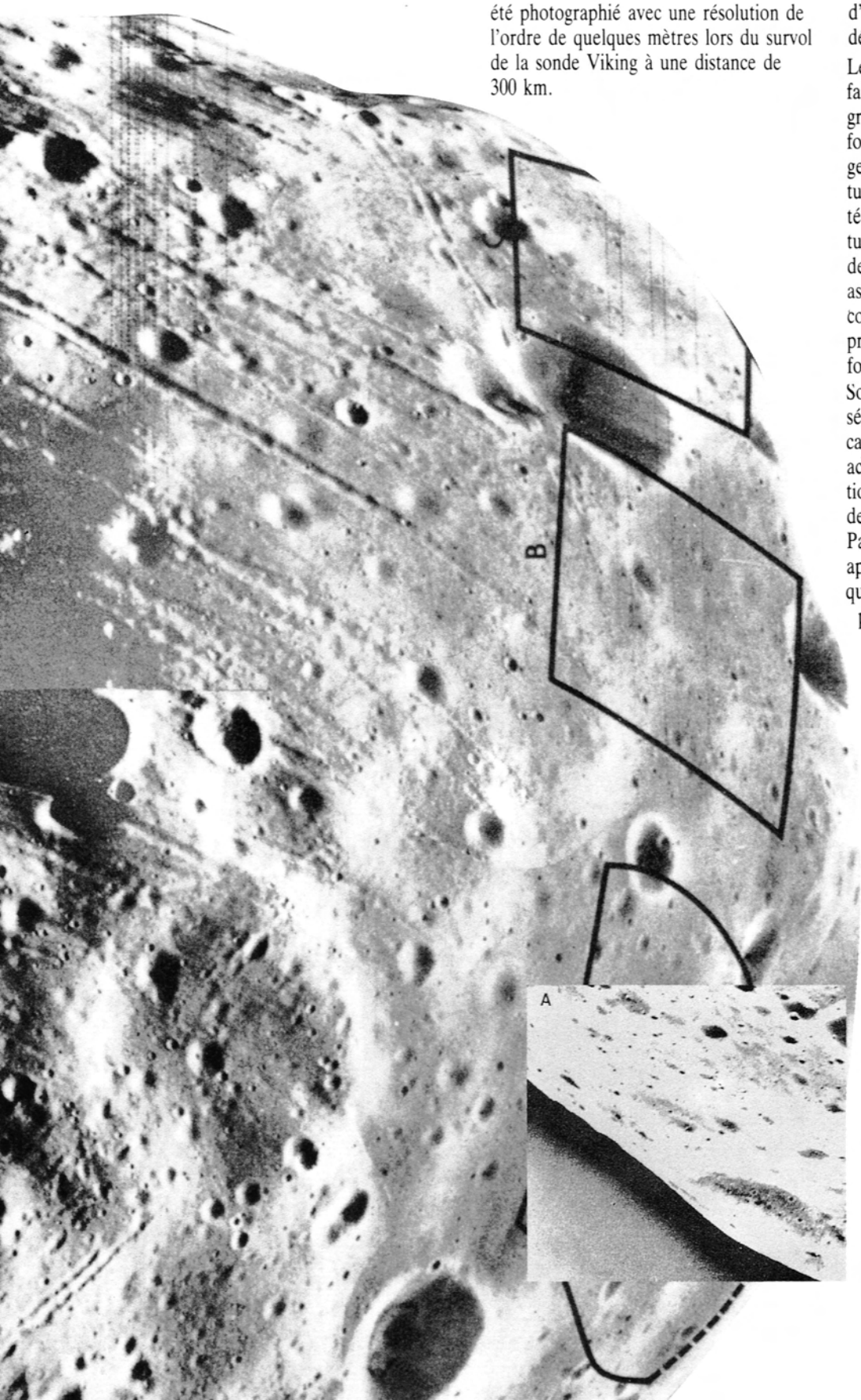
Mars : formation nuageuse au-dessus du Mont Olympus.

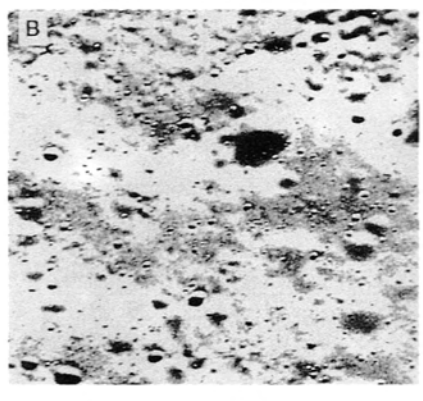


Phobos (Terreur en grec) et Deimos (Panique) sont les deux petits satellites de Mars. Ils furent découverts par Asaph Hall en 1877. Situé dans le plan équatorial de Mars, Phobos, le plus gros des deux satellites, tourne dans le sens direct et sur une orbite circulaire de 9378 km de rayon. Sa rotation de durée 7,65 heures est synchrone autour de Mars, ce qui signifie qu'il présente toujours la même face à un observateur situé sur Mars. Phobos a été photographié avec une résolution de l'ordre de quelques mètres lors du survol de la sonde Viking à une distance de 300 km.

D'une forme très irrégulière (27 x 21 x 19 km), Phobos ne possède ni atmosphère, ni activité géologique interne. Sa caractéristique principale réside dans une surface criblée de cratères dont le plus impressionnant est le cratère Stickney, de près de 10 km de diamètre. De plus, cette surface est parcourue par un réseau de larges stries dont l'origine pourrait être des fractures résultant de l'impact qui a produit le cratère Stickney. En outre, elle est recouverte d'un régolite, couche de poussière et de débris rocheux, très épais.

Le faible pouvoir réflecteur de Phobos le fait apparaître très sombre, d'une couleur gris-noir. Sa faible densité suggère qu'il est formé d'un matériau riche en éléments légers et en eau, semblable à celui qui constitue les chondrites carbonées (classe de météorites primitives). Toutes les données actuelles sembleraient indiquer que Phobos a des caractéristiques similaires à celles des astéroïdes de type C. Le matériau qui le compose serait alors proche de la matière primitive dont l'accrétion a conduit à la formation des planètes du Système Solaire. Son origine est cependant très controversée : Phobos est-il réellement un astéroïde capturé par Mars ou s'est-il constitué par accrétion de matériaux résidus de la formation de Mars ? Seule une analyse chimique de Phobos apportera des éléments décisifs. Par contre, le devenir du satellite est sans appel. Il tourne plus vite autour de Mars que Mars sur elle-même et est donc freiné par les effets de marée. Dans 30 millions d'années, Phobos devrait s'écraser à la surface de Mars.





Le satellite Phobos vu par Viking 1 : trois détails montrent une surface largement cratérisée.

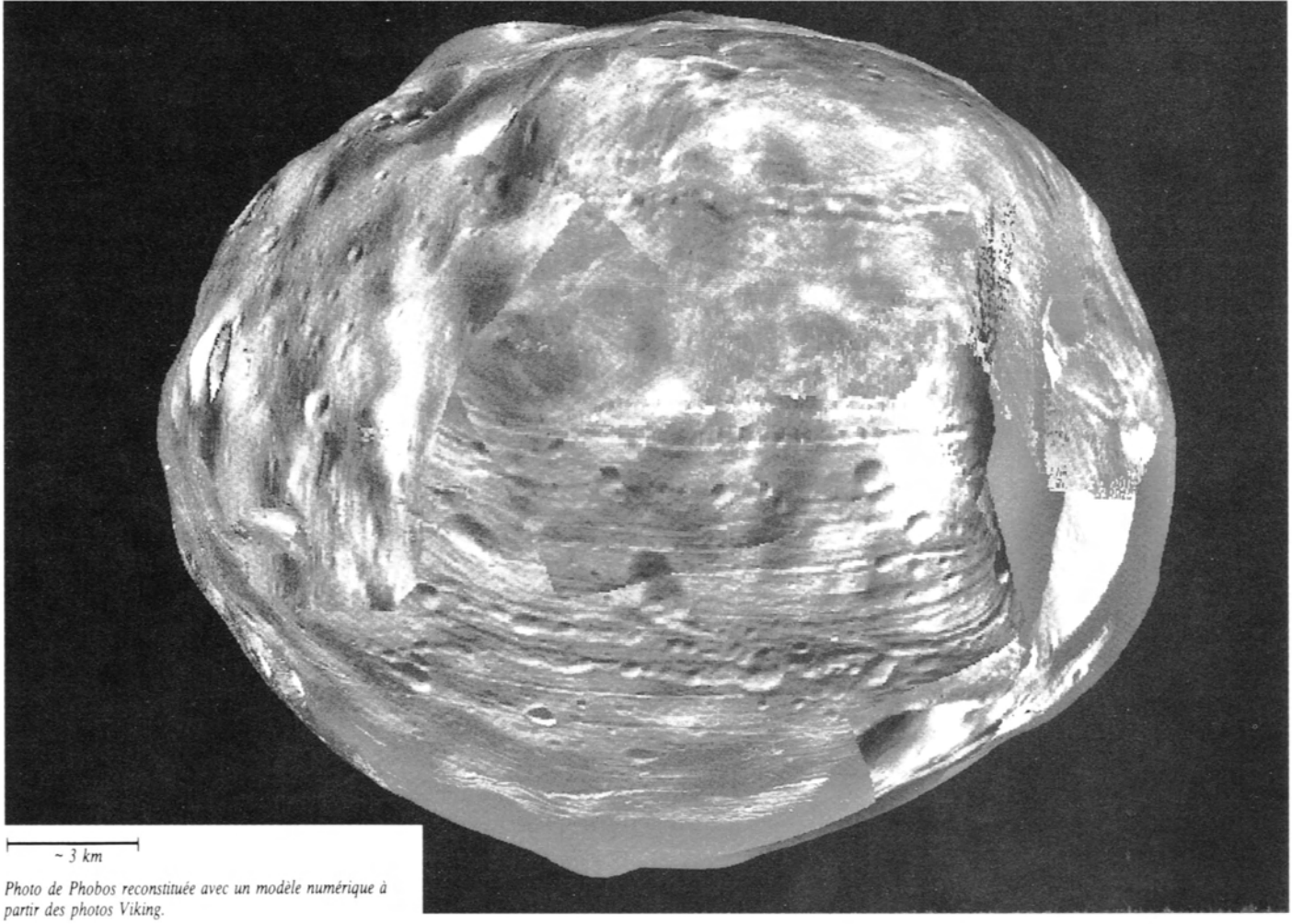
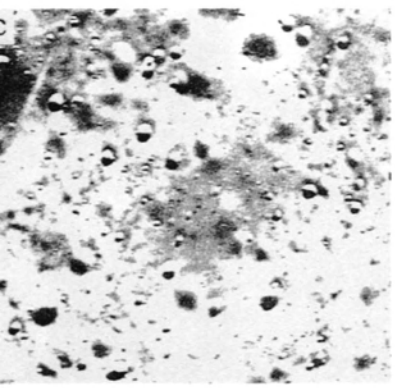
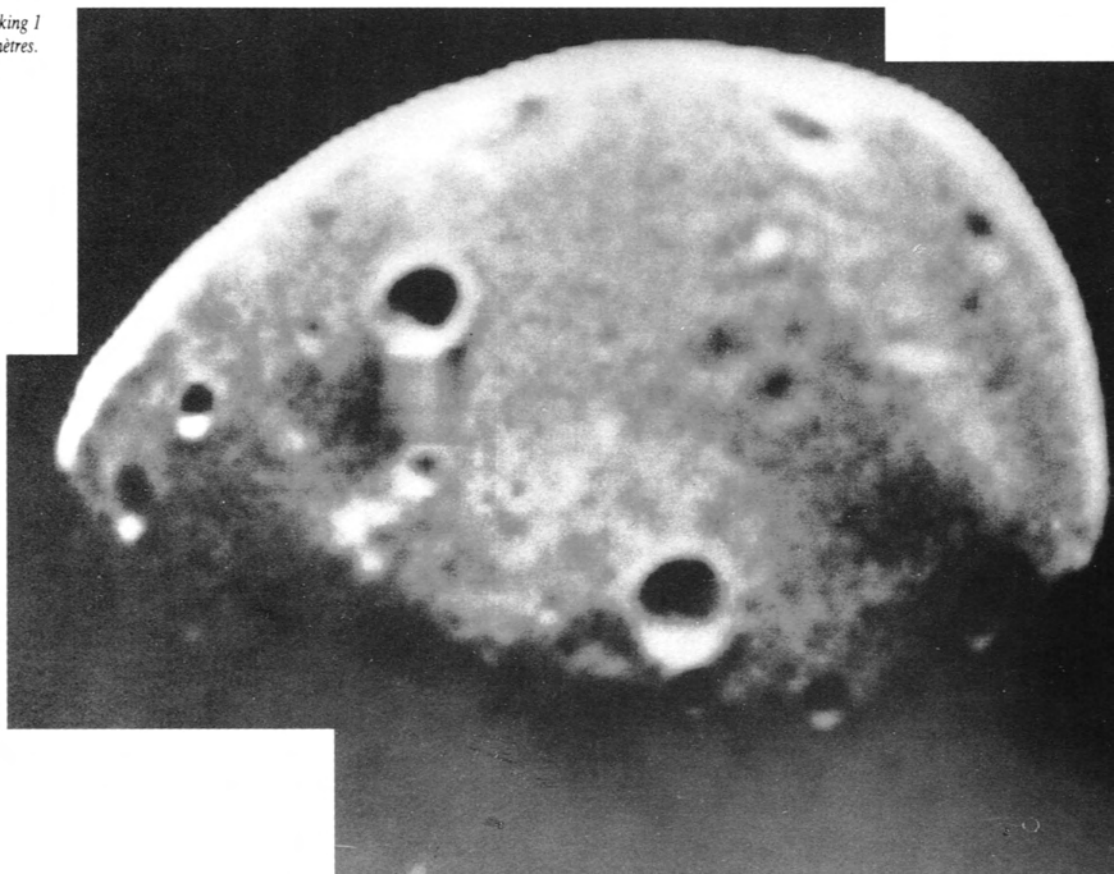


Photo de Phobos reconstituée avec un modèle numérique à partir des photos Viking.

Deimos, le deuxième satellite naturel de Mars, est également dans le plan équatorial de la planète. Il tourne dans le sens direct, sur une orbite circulaire, et sa rotation est synchrone de celle de Mars. Sa forme irrégulière est voisine de celle d'un ellipsoïde dont la plus grande dimension serait de 15 km. Il a été observé lors du passage de la sonde Viking avec une résolution de l'ordre de quelques dizaines de mètres. A cette échelle, sa surface est parsemée de taches environ 30 p. 100 plus brillantes que l'environnement; cependant, il apparaît, de même que Phobos, très sombre. Son origine est également inconnue.

Le satellite Deimos vu par Viking 1 avec une résolution de 200 mètres.







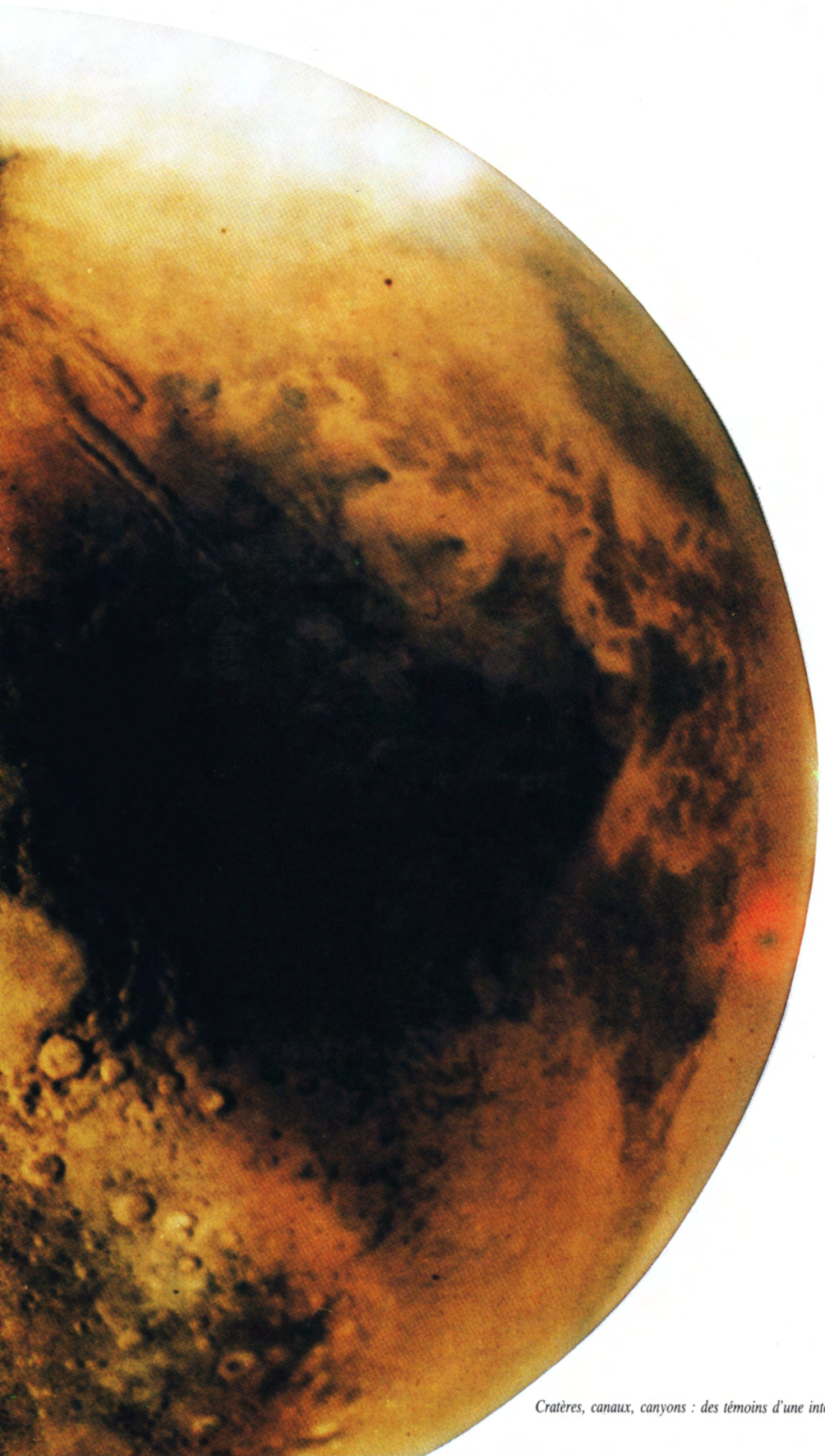
Les Objectifs Scientifiques

Phobos

L'étude du satellite Phobos est l'objectif prioritaire de cette mission. Pour la première fois, des instruments effectueront des mesures in situ de la composition chimique et minérale de son sol. Sur l'un des atterrisseurs, le DAS, sont placées des expériences de mécanique céleste (position, perturbations, période de libration, ...), des spectromètres, des sismomètres et des caméras. Le deuxième véhicule, la Grenouille, effectuera également des mesures scientifiques, notamment l'étude de la composition chimique et des propriétés physiques et mécaniques de la surface de Phobos. Durant le temps où la sonde principale sera proche du satellite, des expériences actives (par bombardement ionique ou tir laser) sont programmées. Elles sont destinées à déterminer la composition chimique de la surface, à étudier l'évolution temporelle du régolite et à effectuer des radiosondages afin de préciser la structure interne de Phobos. Elles seront complétées par une instrumentation classique : un système de caméras fournira des images dans trois canaux spectraux afin de reconstituer une carte de Phobos, et une instrumentation dans l'infrarouge et le proche infrarouge permettra de déterminer les propriétés thermiques du sol et d'effectuer une cartographie minéralogique.

Mars et son voisinage

Lorsque la sonde PHOBOS passera au plus près du sol martien (500 km d'altitude). Il sera alors possible d'obtenir des images de Mars, d'étudier les propriétés thermiques de sa surface, d'effectuer une cartographie minéralogique du sol et de mesurer la radioactivité des roches. Des sondages atmosphériques permettront de déterminer les concentrations des constituants minoritaires de l'atmosphère martienne (ozone, vapeur d'eau, oxygène moléculaire, poussière). La mission PHOBOS est équipée, en outre, d'une importante instrumentation conçue pour l'étude de l'environnement ionisé de Mars. Ainsi, ce sera la première fois que l'on obtiendra la fonction de distribution tridimensionnelle des ions et des électrons dans le voisinage de Mars. On aura également accès à la composition ionique ainsi qu'à la structure et à la dynamique de la magnétosphère martienne.

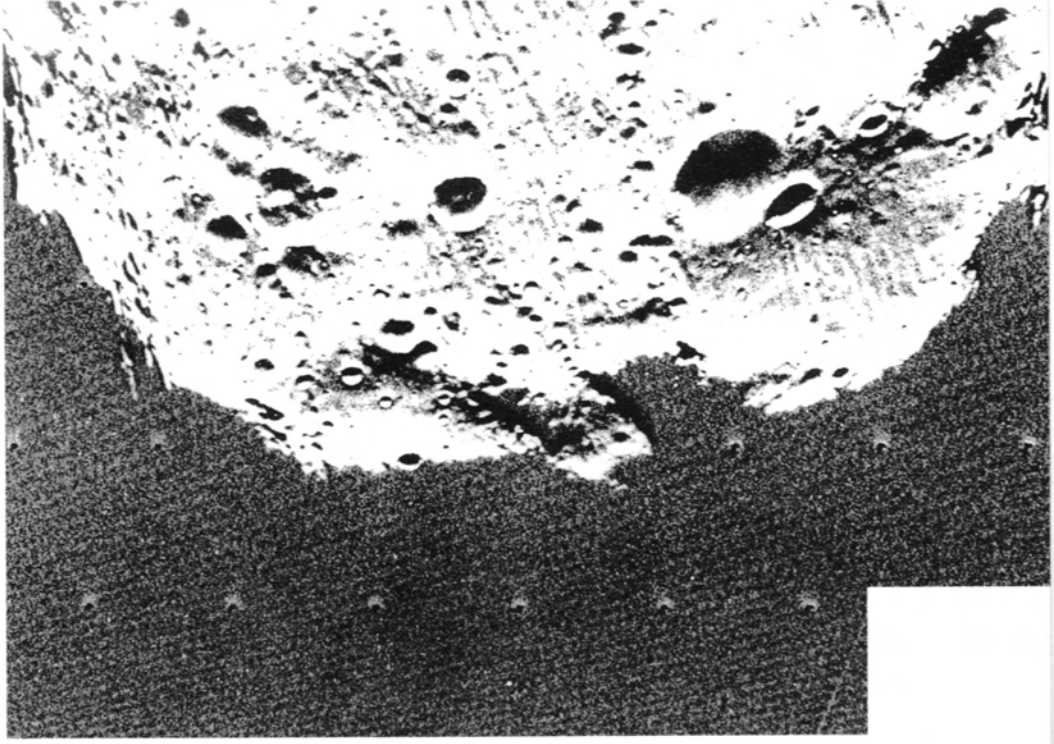


Cratères, canaux, canyons : des témoins d'une intense activité géologique sur Mars.

Soleil et milieu interplanétaire

Le soleil dont l'intérêt n'est plus à souligner comme laboratoire naturel sera étudié d'une manière totalement novatrice. En effet, il sera observé de trois points différents : de la sonde Phobos, de la Terre, et des satellites en orbite autour de la Terre. Ces données permettront de reconstituer la structure tridimensionnelle de la chromosphère et de la couronne solaire. La mission PHOBOS sera également une occasion supplémentaire d'observer l'activité solaire sur un large domaine spectral ainsi que la structure et la dynamique des couches internes du soleil.

Par ailleurs, les mesures du vent solaire et des rayons cosmiques devraient conduire à mieux caractériser les processus survenant dans le milieu interplanétaire.

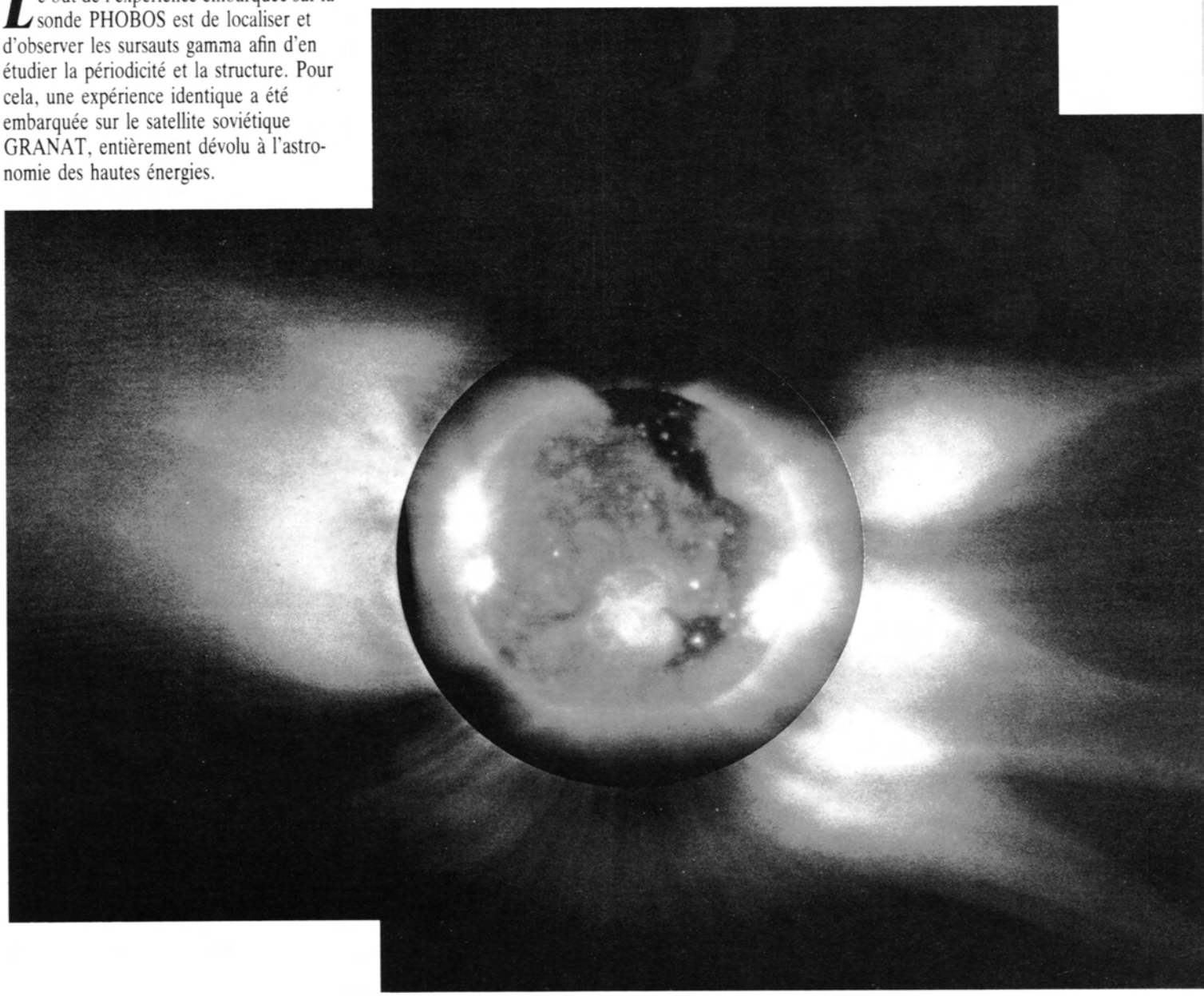


Vue rapprochée du satellite Phobos.

Astrophysique

Le but de l'expérience embarquée sur la sonde PHOBOS est de localiser et d'observer les sursauts gamma afin d'en étudier la périodicité et la structure. Pour cela, une expérience identique a été embarquée sur le satellite soviétique GRANAT, entièrement dévolu à l'astronomie des hautes énergies.

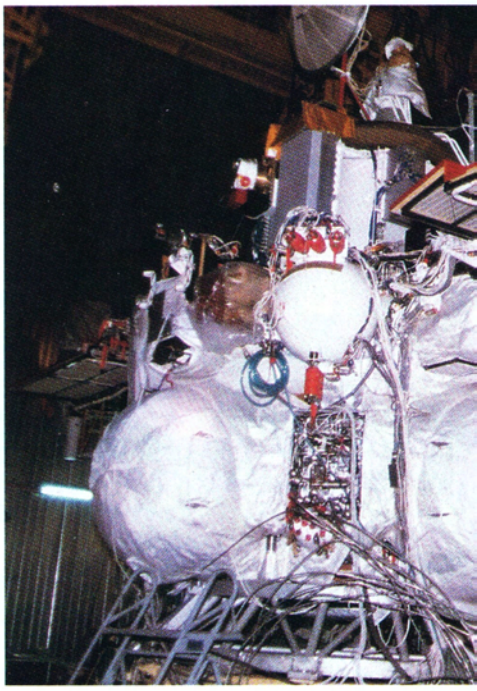
Montage de vues du soleil observé le même jour en X (chromosphère) et en lumière blanche (couronne).

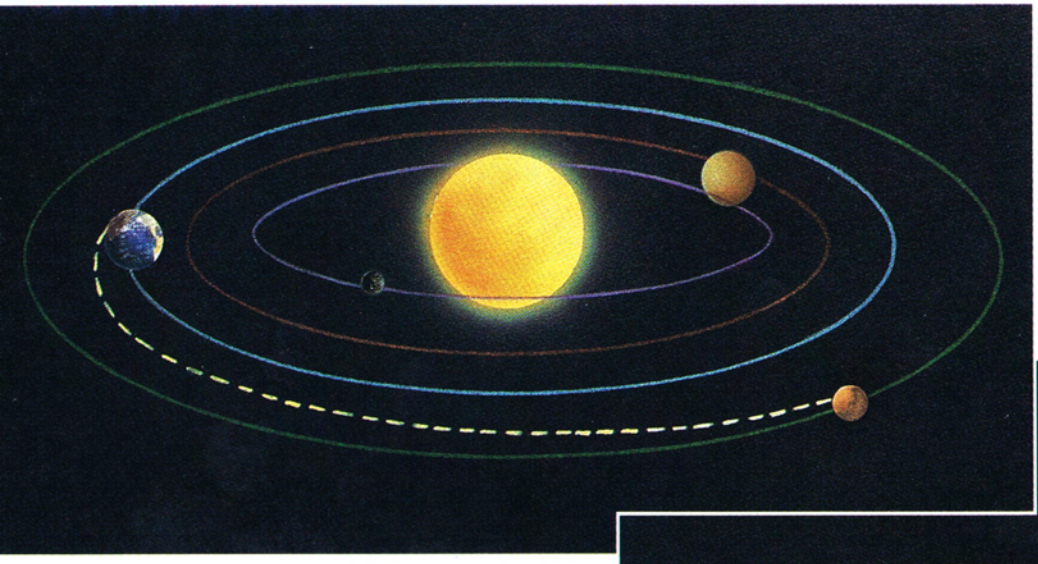




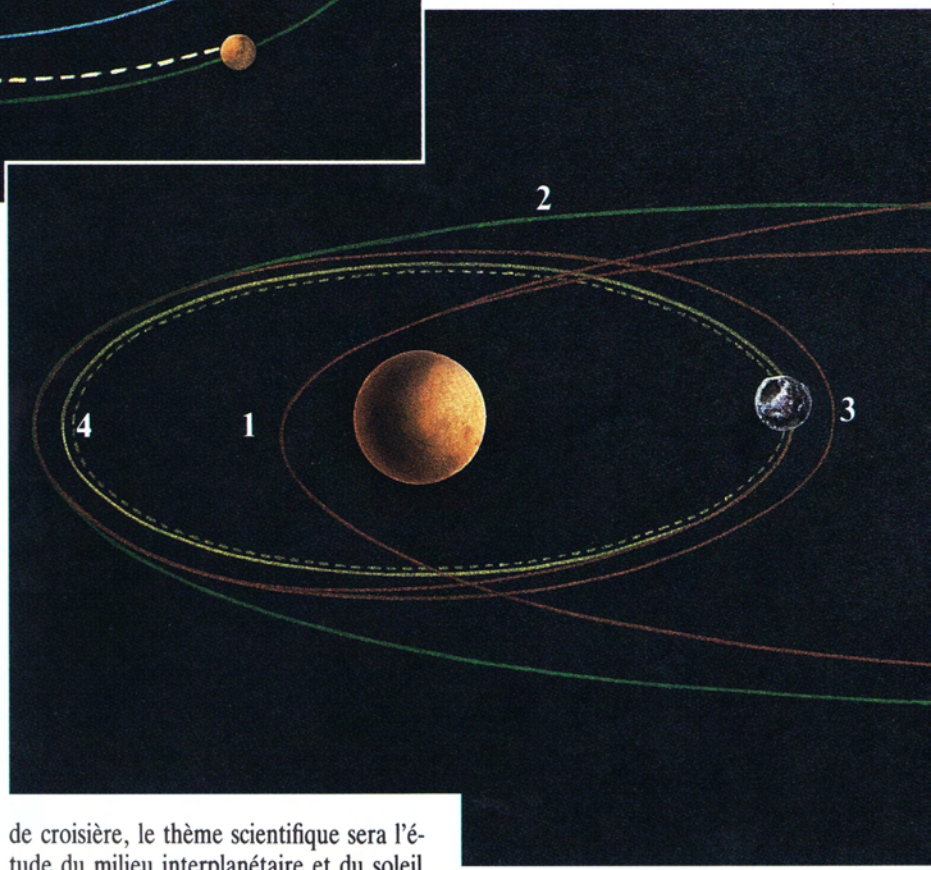
La Mission Phobos

La mission spatiale PHOBOS, à l'instar des missions soviétiques antérieures, est constituée de deux sondes quasiment identiques. Elles seront lancées, chacune par une fusée Proton, de Baïkonour par l'Union Soviétique en juillet 1988. Elles doivent deux cent quatre jours plus tard arriver au voisinage de la planète Mars. Des corrections de trajectoire seront effectuées durant le trajet. Lors de cette phase





La mission PHOBOS : trajectoires et orbites.

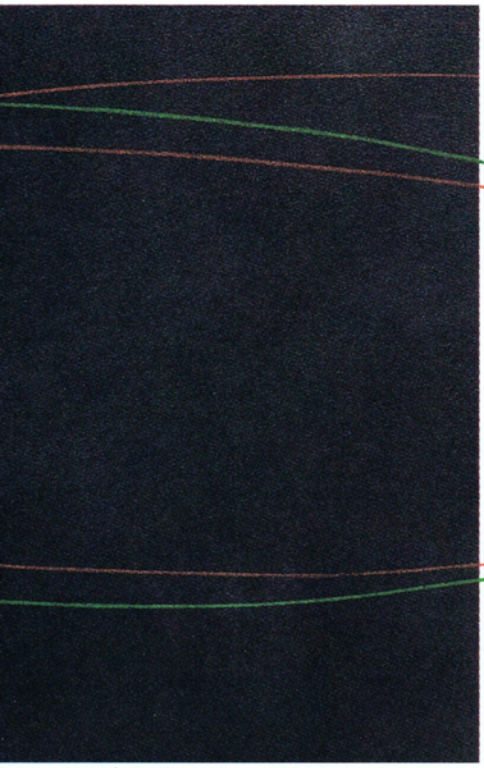


de croisière, le thème scientifique sera l'étude du milieu interplanétaire et du soleil ainsi que la détection des sursauts gamma. A la suite du transfert Terre-Mars, le véhicule sera placé sur une orbite équatoriale excentrique (1) dont le péricentre sera proche de Mars. Cette proximité sera favorable à l'observation de la planète et de son environnement. La sonde sera ensuite placée sur une deuxième orbite elliptique (2) par une manœuvre d'apogée qui relèvera le péricentre à une altitude proche de l'orbite de Phobos (500 km); cette orbite sera ensuite circularisée (3) par une manœuvre de périgée. Cette orbite circulaire dite d'observation, doit permettre de préciser l'orbite de Phobos grâce au système de caméra.

Les éléments orbitaux sont des paramètres difficiles à déduire de l'analyse des photos. Aussi, compte tenu de l'importance que cela revêt pour le déroulement de la mission, un double système de calcul a été instauré. Les spécialistes soviétiques et le CNES ont chacun mis en œuvre un logiciel d'orbitographie du satellite Phobos. Celui-ci sera capable de traiter, durant la phase de navigation des sondes, les données acquises par les caméras afin d'améliorer la connaissance des éphémérides de Phobos. La méthode employée par le CNES utilise une théorie du mouvement développé au Bureau des Longitudes à



la sonde PHOBOS.



Paris. Par ailleurs, la navigation de la sonde sera également facilitée par des mesures d'interférométrie à très grande base effectuées par la NASA. Quand l'orbite de Phobos sera assez bien connue, une manœuvre sera réalisée afin de transférer la sonde de son orbite circulaire sur une orbite "synchronisée" (4), également circulaire; les paramètres orbitaux de la sonde seront alors les mêmes que ceux du satellite naturel de Mars. La sonde restera sur cette orbite un mois, temps durant lequel une étude topographique de Phobos sera réalisée. A la suite de cette période la phase d'approche sera déclenchée.

Calendrier préliminaire de la Mission Phobos

	LANCEMENT	MISE EN ORBITE MARTIENNE	ATTERRISSAGE DU DAS SUR PHOBOS
SONDE 1	7 JUILLET 1988	25 JANVIER 1989	7 AVRIL 1989
SONDE 2	12 JUILLET 1988	29 JANVIER 1989	25 MAI 1989

Les Missions Martiennes

MISSIONS EFFECTUEES

MISSION	PAYS	DATE DE LANCEMENT	DESCRIPTION
MARINER 4	USA	1964	Sonde de survol : premières images de Mars.
MARINER 6,7	USA	1969	Sonde de survol : structure et composition de l'atmosphère.
MARINER 9	USA	1971	Sonde orbitale : observation détaillée de la surface de Mars. Etude de l'atmosphère.
MARS 2, 3	URSS	1971	Orbiteur et station automatique : mission exploratoire.
MARS 4, 5, 6, 7	URSS	1973	Orbiteur et station automatique : mission exploratoire.
VIKING 1 et 2	USA	1976	Orbiteurs et atterrisseurs orbiteurs : composition de l'atmosphère, mesure du champ de gravité, cartographie détaillée de la surface. Premières photos à haute résolution de Phobos et Deimos. Atterrisseurs : analyses in situ, observations météo, recherche de matière organique.

MISSIONS EN PREPARATION

PHOBOS	URSS	1988	Sonde orbitale et rendez-vous avec le satellite Phobos. Analyse in situ par des véhicules déposés à la surface de Phobos.
MOM (Mars Orbiter mission)	USA	1992	Orbiteur : étude de Mars. (Géophysique et climatologie).

PERSPECTIVES

COLOMB	URSS	1992-94	Etude détaillée in situ grâce à des orbiteurs, des véhicules mobiles et des ballons.
MARS (retour d'échantillons) MRSR (Mars rover sample return)	URSS USA	AVANT L'AN 2000	Retour sur Terre d'échantillons du sol de Mars.

En effet, une impulsion sera donnée pour "descendre" à 30 km d'altitude, distance à laquelle le système d'altimétrie fera ses premières mesures et prendra le contrôle du mouvement de la sonde qui s'approchera jusqu'à 50 mètres de la surface de Phobos et la survolera à cette altitude pendant 15 à 20 minutes, à la vitesse de 2 à 5 m/s. La sonde effectuera des observations de Phobos et surtout un certain nombre d'expériences actives. A la fin du survol rapproché, un atterrisseur, appelé DAS, et un véhicule se déplaçant par sauts, la Grenouille, se sépareront de la sonde principale pour aller explorer la surface de Phobos. L'atterrisseur descendra lentement sur le site choisi où il fonctionnera au moins une douzaine de mois. La Grenouille, elle, par une dizaine de sauts latéraux d'une vingtaine de mètres explorera les alentours. Sa mission accomplie, la sonde reviendra sur une orbite circulaire d'observation à partir de laquelle elle effectuera des observations de Mars, du soleil et du milieu interplanétaire pendant plusieurs mois. La durée de la mission devrait être de quinze mois.

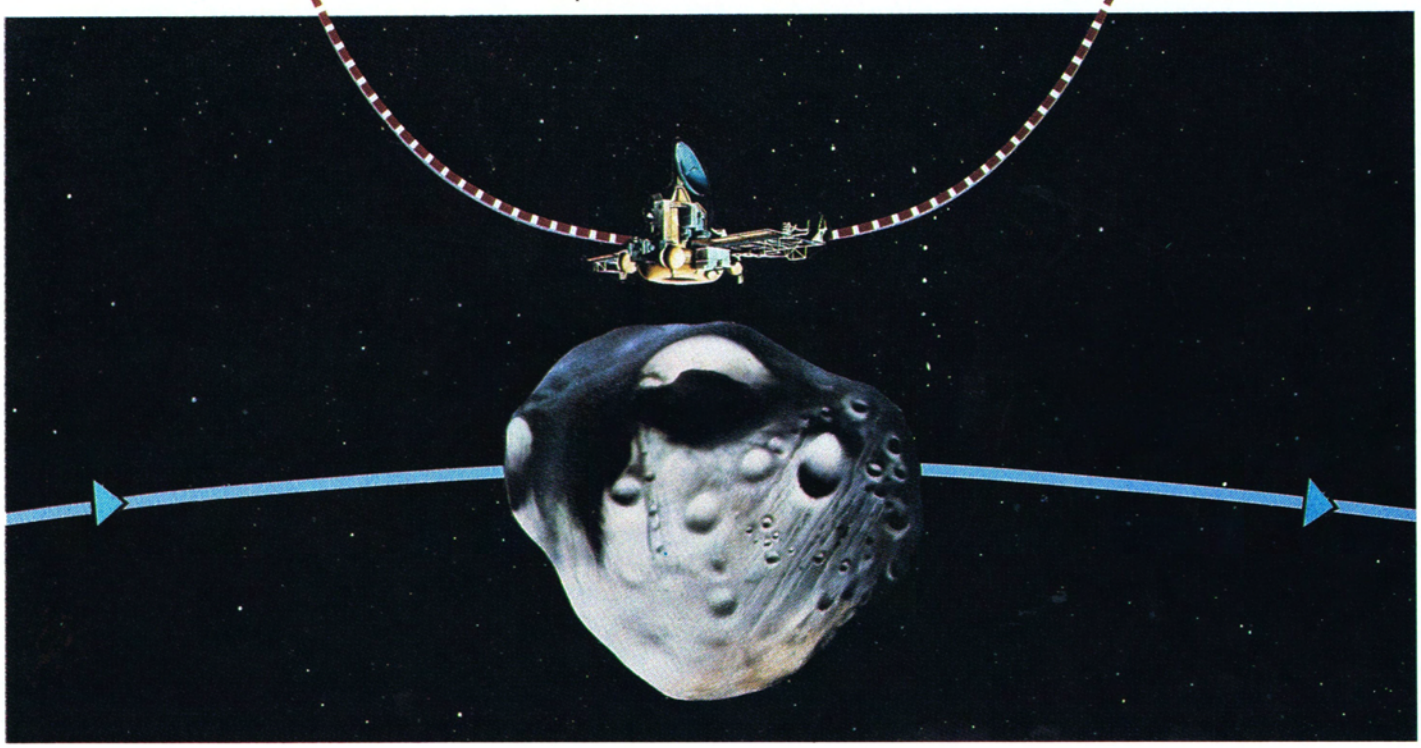
La transmission des informations

Durant la phase de transfert Terre-Mars, les séances de liaison avec les sondes sont prévues tous les cinq jours. Dans l'intervalle, les informations sont enregistrées à bord. Durant les phases orbitales, la liaison est établie tous les trois jours. La durée des séances est d'une à deux heures.

La station principale de réception des données est située à Eupatoria en Union Soviétique. Les données sont par la suite transmises à l'IKI (Institut de Recherches Spatiales) à Moscou. Deux procédures de transmission, utilisables selon le stade de la mission, ont été instaurées. Durant la phase de croisière Terre-Mars et la quasi totalité des phases orbitales, les données sont enregistrées sur bandes magnétiques à la station d'Eupatoria. Ces bandes sont alors envoyées à l' IKI (par avion, train ...). Par contre, lors du survol de Phobos et de quelques phases orbitales particulières, les



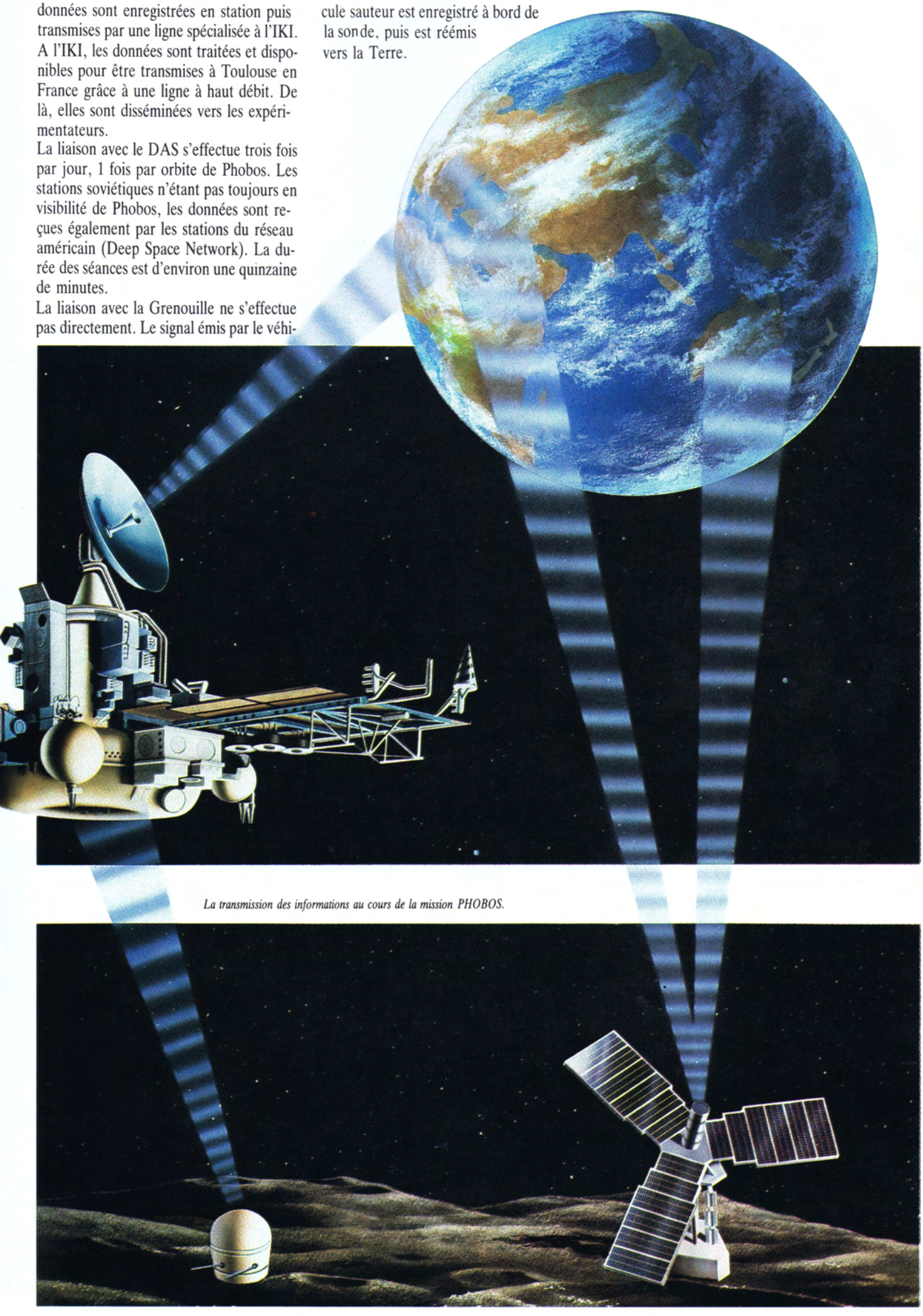
La phase de descente sur le satellite Phobos.



données sont enregistrées en station puis transmises par une ligne spécialisée à l'IKI. A l'IKI, les données sont traitées et disponibles pour être transmises à Toulouse en France grâce à une ligne à haut débit. De là, elles sont disséminées vers les expérimentateurs.

La liaison avec le DAS s'effectue trois fois par jour, 1 fois par orbite de Phobos. Les stations soviétiques n'étant pas toujours en visibilité de Phobos, les données sont reçues également par les stations du réseau américain (Deep Space Network). La durée des séances est d'environ une quinzaine de minutes.

La liaison avec la Grenouille ne s'effectue pas directement. Le signal émis par le véhicule sauteur est enregistré à bord de la sonde, puis est réémis vers la Terre.



La transmission des informations au cours de la mission PHOBOS.



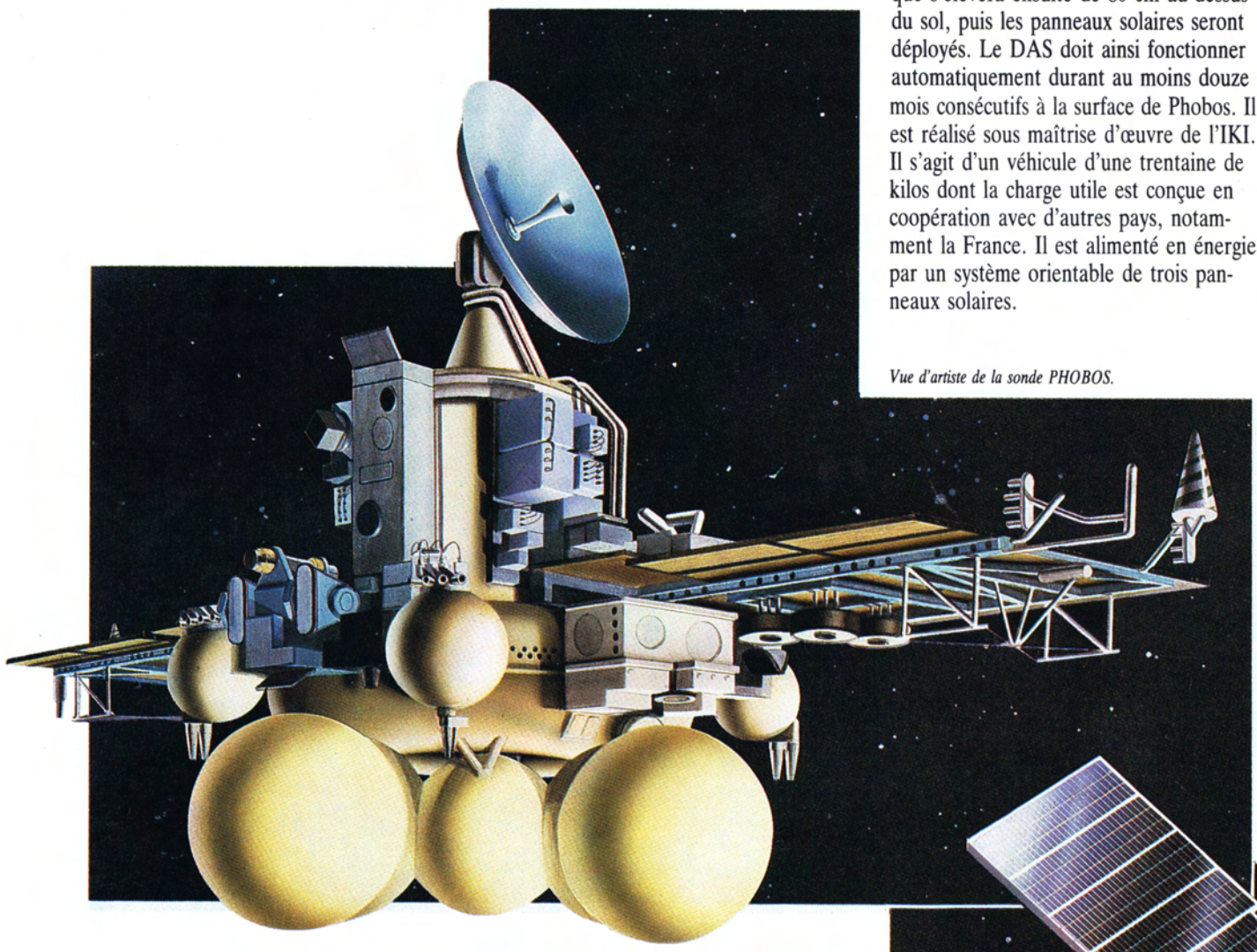
Les Véhicules

La sonde

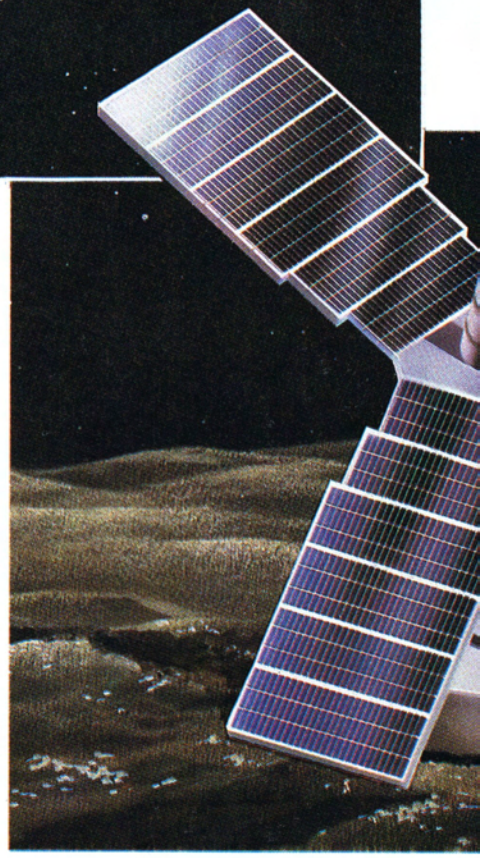
Les deux sondes sont quasiment identiques. Chaque sonde est composée d'un compartiment toroïdal sur lequel est placé un compartiment cylindrique et deux panneaux solaires. L'instrumentation scientifique est installée sur le compartiment toroïdal. Le poids de la charge utile scientifique est de l'ordre de 300 kg. Chaque expérience fonctionnera selon un calendrier établi en fonction des différents stades de la mission. Les expériences doivent être orientées avec la plus grande précision vers Phobos, Mars, la Terre, et le Soleil. Plusieurs modes de stabilisation sont utilisables. Chaque sonde est équipée d'un senseur stellaire, d'un senseur solaire, et d'une plate-forme gyrostabilisée. Quand la sonde est stabilisée sur trois axes : un axe est pointé vers le soleil et un autre vers une étoile (Canopus), la précision est alors de ± 1°. Quand la sonde est stabilisée sur un seul axe, la précision est de 0,5°, mais la dérive peut être importante sur l'axe non stabilisé. Enfin lorsque du fait de l'orientation de la sonde, il n'est pas possible d'utiliser les senseurs, la stabilisation est effectuée par la plate-forme gyroscopique.

L'atterrisseur

Quand l'atterrisseur, ou plus précisément la station autonome de longue durée (DAS), touchera la surface de Phobos, une ancre, reliée au véhicule par un câble, pénètrera dans le sol afin de le maintenir solidement arrimé. L'ancre s'enfoncera d'une profondeur variable selon la nature du sol (poussiéreux ou rocheux). Le plateau supportant la charge utile scientifique s'élèvera ensuite de 80 cm au-dessus du sol, puis les panneaux solaires seront déployés. Le DAS doit ainsi fonctionner automatiquement durant au moins douze mois consécutifs à la surface de Phobos. Il est réalisé sous maîtrise d'œuvre de l'IKI. Il s'agit d'un véhicule d'une trentaine de kilos dont la charge utile est conçue en coopération avec d'autres pays, notamment la France. Il est alimenté en énergie par un système orientable de trois panneaux solaires.



Vue d'artiste de la sonde PHOBOS.



Vue d'artiste de la station autonome de longue durée (DAS).

INSTRUMENTATION SCIENTIFIQUE DU DAS

EXPERIENCE	OBJECTIFS
Spectromètre X, α	Composition élémentaire de la surface de Phobos.
Sismomètre	Structure interne de Phobos.
STENOPEE	Etude du mouvement de libration de Phobos
Caméras	Observation de la microstructure de la surface de Phobos.
RAZREZ (pénétromètre)	Etude des propriétés physiques et mécaniques de la surface de Phobos.
Système radio	Mesures de position pour des calculs de Mécanique Céleste.
Sonde thermique	Mesure de température (sonde installée dans l'ancre du DAS)

Vue d'artiste de la Grenouille.





La Grenouille

Le deuxième véhicule qui atterrira sur Phobos sera capable de se déplacer par plusieurs sauts de vingt mètres. Ainsi, dès qu'il se sera stabilisé sur le sol de Phobos, il se positionnera en mode opérationnel grâce à un jeu de tiges. Après avoir accompli un cycle de mesures, un système poussoir le déplacera sur un autre site. Il se repositionnera alors pour accomplir un nouveau cycle de mesures scientifiques. L'instrumentation scientifique de la Grenouille est entièrement soviétique. Ce véhicule sauteur à batteries ne sera actif que quelques jours.

INSTRUMENTATION SCIENTIFIQUE DE LA GRENOUILLE

EXPERIENCE	OBJECTIFS
Accéléromètre	Mesure des accélérations provoquées par les impacts sur la surface de Phobos.
Spectromètre X	Composition chimique de la surface de Phobos.
Pénétromètre	Etude des propriétés physiques et mécaniques de la surface de Phobos.
Magnétomètre	Mesure locale du champ magnétique

Charge utile de la sonde Phobos

ETUDE DE LA COMPOSITION DU SOL DE PHOBOS

EXPERIENCES	OBJECTIFS	INSTRUMENTS
LIMA D	Détermination de la composition élémentaire et isotopique de la surface de Phobos.	Laser (expérience active) + Spectro de masse à temps de vol.
DION	Analyse de la composition de la couche superficielle du sol de Phobos.	Canon à ions (expérience active) + Spectro de masse quadrupôle.
GS 14	Mesure de l'émission gamma du régolite de Phobos.	Spectromètre.
IPNM	Mesure de l'émission neutronique. Recherche de l'eau.	Spectromètre.

ETUDE DE LA STRUCTURE DU SOL DE PHOBOS

GRUNT	Etude des caractéristiques du relief de Phobos.	Radar (Expérience active).
FREGAT	Imagerie et cartographie de la surface de Phobos.	Caméras, Spectromètres.
ISM, KRFM, TERMOSKAN	Mesures spectroscopiques et radiométriques du sol de Phobos. Cartographie minéralogique.	Spectro-imageur. Radiomètres en infrarouge.

ETUDE DE L'ATMOSPHERE ET DU SOL DE MARS

AUGUSTE	Etude de la composition chimique de l'atmosphère.	Spectromètre, interféromètre.
ISM, KRFM, TERMOSKAN	Cartographie minéralogique et thermique du sol. Composition et distribution des givres, nuages et aérosols.	Spectro-imageur. Radiomètres en infrarouge.

ETUDE DE L'ENVIRONNEMENT DE MARS (EXPERIENCES PARTICULES)

ASPERA	Composition, structure et dynamique de la magnétosphère.	Spectromètre.
AEG - F	Etude de l'énergie et de la distribution angulaire des ions et des électrons de faible énergie dans l'environnement de Mars et dans le milieu interplanétaire.	Spectromètre.

ETUDE DE L'ENVIRONNEMENT DE MARS (EXPERIENCES ONDES)

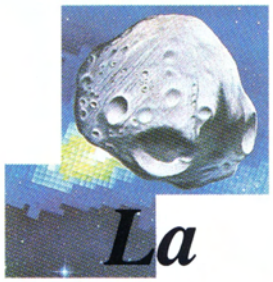
PLAZMA	Radiosondage de l'ionosphère Martienne.	Radar.
APV-F	Etude des ondes de plasma.	Sondes, magnétomètre, ...
FGMM, MAGMA	Étude des caractéristiques magnétiques de Mars et Phobos.	Magnétomètres.

ETUDE DU SOLEIL

TEREK	Observation de la structure et de la dynamique de l'atmosphère solaire externe.	Coronographe.
IPHIR	Structure et dynamique des régions internes.	Photomètres.
RF-15	Observation de l'activité solaire en rayonnement X.	Compteurs proportionnels.
SUFR	Observation du flux solaire dans l'ultraviolet lointain.	Détecteurs.
LET	Etude des rayons cosmiques solaires de haute énergie.	Spectromètre.
SLED	Etude des rayons cosmiques solaires de basse énergie.	Spectromètre.

ETUDE DES SURSAUTS GAMMA ET DU MILIEU INTERPLANETAIRE

APEX, LILAS	Etude et localisation des sursauts gamma cosmiques.	Détecteurs.
SOVIKOMS	Vent solaire et environnement ionisé de Mars.	Analyseurs électrostatiques.
TAUS	Etude du vent solaire (protons et particules alpha).	Spectromètre.



La Participation Française

La France, à travers la participation de ses laboratoires et du CNES à Toulouse (CST), est le principal partenaire de l'Union Soviétique dans la mission PHOBOS. Le Centre Spatial de Toulouse, outre sa contribution à la navigation de la sonde, est responsable des essais des expériences françaises et de leur intégration sur le véhicule soviétique.

Participation sur la sonde

Les expériences actives DION et LIMA-D

L'expérience DION est constituée d'un canon à ions dont le faisceau frappant le sol éjecte des ions provenant d'une couche superficielle de quelques dizaines d'angstroëms. L'analyse de ce nuage d'ions à bord de la sonde par l'analyseur qualifié de "FORTRON" permet principalement de déterminer la composition chimique de la surface de Phobos. La gamme de détection prévue s'étend de la masse 1 jusqu'à la masse atomique 60. Cette analyse pourrait également permettre d'évaluer la concentration en espèces implantées par le vent solaire dans les couches superficielles des grains. Ces données, directement reliées au temps de résidence en surface de grains, nous informent sur l'évolution temporelle du régolite de Phobos. Le Laboratoire de Physico-Chimie de l'Environnement (LPCE) du CNRS réalise le canon à ions (SIPPI) de cette expérience.

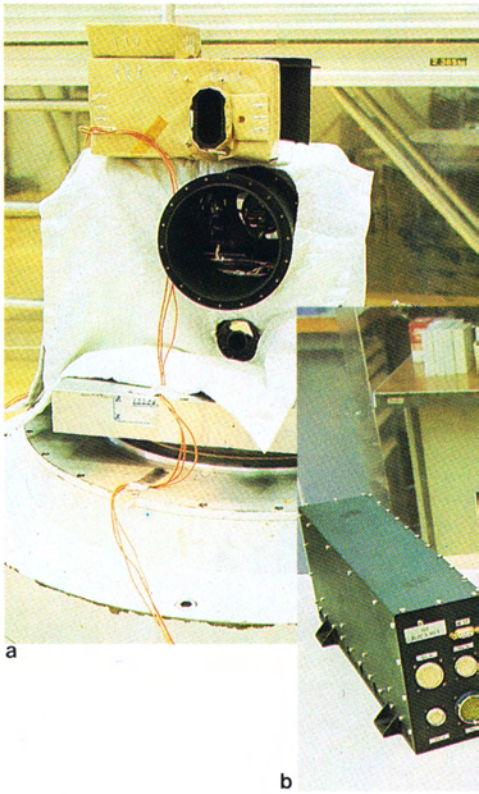
L'expérience active LIMA-D, quant à elle, est constituée d'un laser à impulsion dont le faisceau, focalisé sur une surface de quelques mm^2, éjecte à chaque tir des ions se trouvant jusqu'à une profondeur de quelques microns.
Ce nuage d'ions atteint la sonde où l'analyseur, le REFLECTRON, sélectionne ceux dont l'énergie est comprise entre 900 et 1000 eV. Le Service d'Aéronomie du CNRS est associé scientifiquement à cette expérience d'analyse chimique qui conduira peut-être, ainsi que l'expérience DION et ISM, à élucider l'origine de Phobos.

Le spectromètre ISM

Le spectromètre infrarouge ISM, réalisé par le Laboratoire de Physique Solaire et Planétaire (LPSP) du CNRS, l'Observatoire de Paris-Meudon, et le Laboratoire René Bernas d'Orsay, couvre le domaine spectral de 0,8 à 3 microns. Il est complémentaire de l'instrument soviétique KRFM qui effectue des mesures spectroscopiques dans le proche ultraviolet, le visible et l'infrarouge lointain, et de TERMOSKAN qui effectue, lui, des observations radiométriques dans le domaine de l'infrarouge thermique. Les principaux constituants (minéraux hydratés, silicates ...) présentent des signatures caractéristiques dans le proche infrarouge, permettant leur identification sur Phobos et sur Mars. L'infrarouge thermique et lointain renseignent sur l'inertie thermique et donc la texture des matériaux.

L'expérience AUGUSTE

Le spectrophotomètre AUGUSTE est un instrument conçu et réalisé par le Service d'Aéronomie du CNRS. L'instrument est constamment pointé vers le soleil. Chaque fois que le soleil est occulté par la planète, l'instrument effectue un sondage atmosphérique multispectral afin de déterminer les profils verticaux des constituants de l'atmosphère martienne.



a

b

Les caméras

Le Laboratoire d'Astronomie Spatiale (LAS) du CNRS participe aux caméras qui doivent prendre place sur les sondes. Il réalise les étalonnages et la préparation du dépouillement des images.

L'expérience IPHIR

Cette expérience suisse, réalisée sous la maîtrise d'œuvre du LPSP, est destinée à l'étude des oscillations solaires et en particulier à la détection des modes de pression et de gravité. Elle est constituée de trois photomètres qui effectuent des mesures du rayonnement solaire dans trois étroits canaux spectraux : visible, bleu, rouge.

Les expériences LILAS et APEX

Ces deux expériences auxquelles est largement associé le Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements (CESR) du CNRS sont destinées à l'étude des sursauts gamma cosmiques. LILAS, réalisée entièrement par le CESR, se consacre à l'étude des sursauts dans la gamme des basses énergies tandis que APEX, réalisée en collaboration avec l'Union Soviétique, les étudie dans celle des hautes énergies.

met d'en déduire les mouvements de librations (libres et forcés) de Phobos : c'est-à-dire les petites oscillations autour d'une position moyenne.

Les caméras

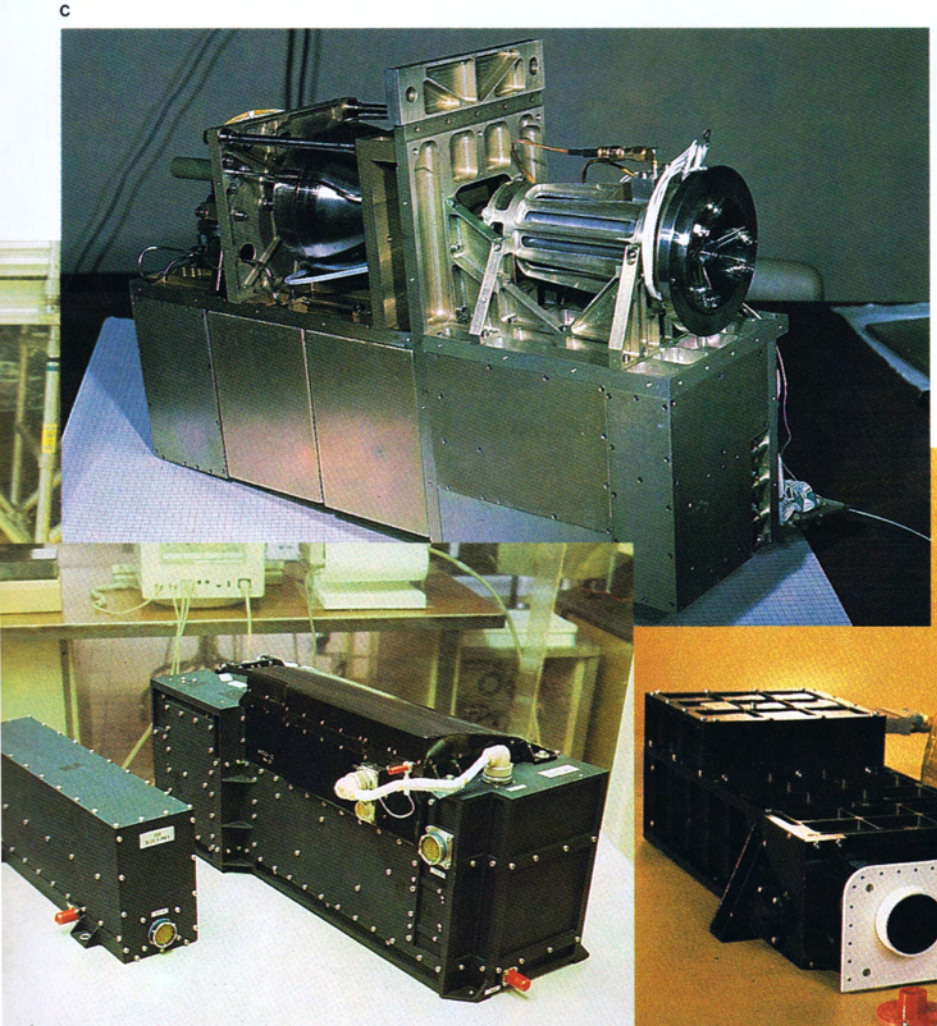
Le Service d'Aéronomie fournit les caméras qui doivent prendre place sur le DAS afin de prendre des photos à haute résolution. Elles permettront également d'étudier la structure du sol de Phobos.

que sa vitesse.

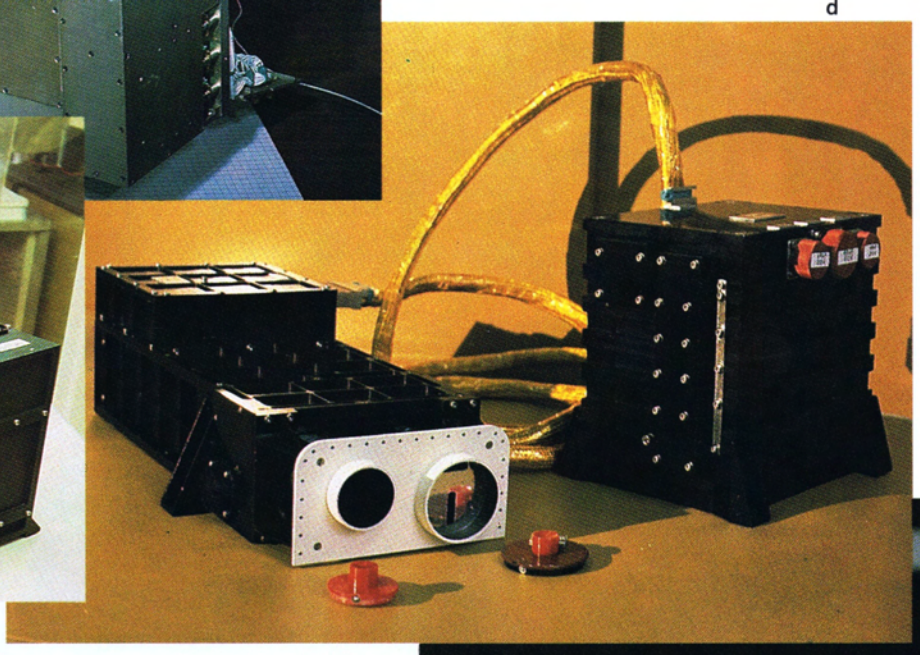
Les mesures de distance sont faites grâce à l'émission d'un signal à partir de la Terre et sa réémission vers la station d'origine par un répondeur cohérent placé sur le DAS. Deux stations sont prévues : l'une à Eupatoria en Union Soviétique, l'autre à Goldstone aux Etats-Unis, opérée par la NASA. Par cette méthode appelée "Ranging", on peut obtenir une détermination très précise de la position du DAS, c'est-à-dire de Phobos (5 à 10 mètres de précision).

La combinaison de ces mesures de distance et des mesures obtenues par l'expérience Sténopée, et cela durant une grande période de temps, permettra d'améliorer la connaissance, non seulement de la mécanique du système Mars-Phobos, mais aussi des paramètres décrivant la mécanique du Système Solaire, par exemple les masses des astéroïdes situés au-delà de l'orbite de Mars, et surtout d'étudier la variation de la constante de gravité universelle en fonction du temps.

c



d



Les principales expériences françaises de la mission PHOBOS : a) ISM, b) AUGUSTE, c) SIPPI, d) IPHIR, e) STENOPEE.

Participation sur le DAS

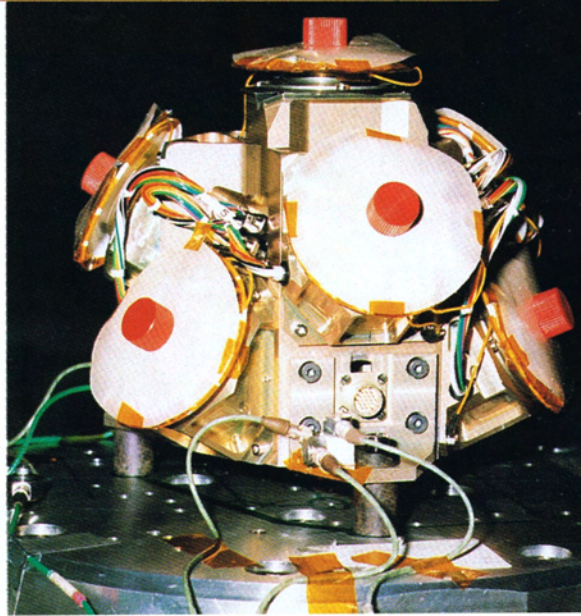
L'expérience STENOPEE

Cette expérience conçue par le Service d'Aéronomie, vise à déterminer l'amplitude et la fréquence des modes de librations de Phobos. Lorsque le DAS vient s'arrimer au sol de Phobos, il effectue un pointage solaire grossier (±3°) avant de se verrouiller en position. La succession d'images alors obtenue par l'instrument Sténopée, installé sur le DAS, permet de déterminer l'orbitographie du Soleil en fonction du temps, vu depuis le sol de Phobos. La trajectoire du Soleil, comparée à celle théorique, issue de la Mécanique Céleste, per-

Système Radio

Des expériences de mécanique céleste sont prévues sur le DAS. Les conditions pour les réaliser sont plus favorables sur Phobos que sur la sonde car les forces non gravitationnelles n'affectent pas le mouvement de Phobos. Ces expériences utilisent le système radio du DAS et le réseau d'antennes implanté sur la Terre. Une des principales expériences vise à déterminer l'accélération séculaire du mouvement orbital de Phobos qui a pour conséquence de rapprocher progressivement Phobos de Mars. Pour cela, la mesure d'un certain nombre de paramètres est indispensable, notamment la position et la vitesse du DAS, ainsi

e



Vue d'artiste illustrant les principales phases de la mission sur Phobos : expériences actives et largage des véhicules autonomes.



Les partenaires français

INDUSTRIELS

AEROSPATIALE
AETA
CEA
CERME
EREMS
HEROULT
MURO CONTROLE
SAT
SAU
SFMI
SNEC
SOVIS
STIGMA OPTION
SYSTEME SUD TOULOUSE
THOMSON

SCIENTIFIQUES

LPCE : Laboratoire de Physico-Chimie de l'Environnement du CNRS

Service d'Aéronomie du CNRS

LPSP : Laboratoire de Physique Solaire et Planétaire du CNRS

L'Observatoire de Paris-Meudon

Laboratoire René Bernas d'Orsay

LAS : Laboratoire d'Astronomie Spatiale du CNRS

CESR : Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements du CNRS

Création Réalisation MEDIATEC DIFFUSION
Route de Baziège - 31320 LABEGE Tél. : 61.73.57.40
Rédaction Gérard AZOULAY
Illustrations David DUCROS
Crédit photos : NASA - CNES - CNRS - Photothèque d'Orsay

PHOBOS

david ducros



SERVICE DES PUBLICATIONS DU CNES
18, avenue Edouard-Belin 31055 Toulouse Cedex
Tél. 61.27.31.31 - Télex CNES T 531 081 F - Téléfax 61.27.31.79
JUIN 1988