

# Phobos: Mars approché

par C. Muller

Institut d'Aéronomie Spatiale

En juillet 1988, l'Union Soviétique lançait avec succès deux sondes jumelles vers la planète Mars et surtout vers son satellite Phobos; ces deux sondes emportaient des charges utiles internationales d'une complexité jamais égalée. Les principales contributions soviétiques provenaient des instituts de recherche spatiale (IKI et Vernadski) de l'Académie des Sciences et de la société commerciale Glavkosmos pour des versions martiennes d'instruments de télédétection. Les coopérations étrangères étaient représentées par Intercosmos (dont sont membres de nombreuses académies d'Europe centrale), le CNES français, le Département des Sciences de l'Espace de l'Agence Spatiale Européenne à Noordwijk et d'autres laboratoires individuels en Europe et même aux Etats-Unis. La participation de l'Institut d'Aéronomie Spatiale était fort indirecte, un groupe scientifique national belge avait effectué, en 1980-1982, l'étude d'un ensemble d'instruments optiques en orbite martienne sur le satellite européen Kepler qui aurait constitué la contre-partie aéronomique du satellite cartographique américain Mars-Observer maintenant prévu pour 1992. La proposition d'observer la vapeur d'eau et l'oxygène dans le rouge et très proche infrarouge a été par la suite reprise dans l'instrument franco-soviétique Auguste et la partie soviétique a choisi d'associer des scientifiques belges comme co-investigateurs. Malheureusement, l'Agence Spatiale Européenne a maintenant abandonné tout espoir de financer le projet Kepler.

La réalisation du vaisseau spatial et les opérations de vol étaient sous-traitées au centre Babakine, qui a rempli les fonctions de maître-d'oeuvre industriel; cette société réalise un grand nombre de satellites d'application pour d'autres ministères que l'Académie des Sciences. Après les tirs, les 7 et 12 juillet 1988, les sondes sont tour à tour activées et essayées. Hélas, le 2 septembre 1989, durant des opérations d'essai de télécommande, tout contact est perdu avec la sonde *Phobos 1*; après plusieurs semaines de tentative de communication, celle-ci sera considérée comme perdue. L'analyse de la panne par le centre Babakine établira que lors de la séquence de commandes, un logiciel prévu uniquement pour les essais au sol a désactivé la sonde et que celle-ci n'a pas pu être ensuite remise sous tension. Le centre Babakine maintient

que les principes de conception du vaisseau spatial Phobos sont corrects et que la panne aurait pu être évitée par un meilleur contrôle de qualité avant le départ; celui-ci n'a pas pu être assuré en partie à cause des retards induits par les délais prolongés de livraison de la charge utile et notamment des instruments étrangers. Ces informations communiquées par l'ingénieur Kremnev conduiront à plus de rigueur de toutes les parties lors des intégrations et à une meilleure analyse des opérations de vol lors des vols suivants. La seconde sonde *Phobos 2* continuait cependant son chemin jusqu'à sa satellisation autour de Mars le 28 janvier 1989; bien heureusement, des observations de l'atmosphère, du champ magnétique et du sol martien commencent dès cet instant. Il ne faut pas oublier que les sondes ont été actives toute la croisière et ont accumulé les données de physique des plasmas interplanétaires et de physique solaire. L'orbite de *Phobos 2* est ensuite progressivement modifiée pour en arriver le 15 mars à une orbite circulaire à 6270 km d'altitude et la sonde va commencer sa course poursuite avec le satellite Phobos environ 300 km plus bas. Malheureusement, le 28 mars, lors d'une manoeuvre, les panneaux solaires ne sont plus orientés et, suite à la carence d'une batterie de secours, la sonde n'est plus alimentée. Pour des raisons non encore entièrement analysées, la tension ne se rétablit pas et *Phobos 2*, après quelques jours, sera considéré comme perdu; la cause de la panne est encore maintenant si mystérieuse que la collision avec une micro-météorite ou un débris de Phobos a été sérieusement envisagée. La partie non accomplie de la mission incluait un survol de Phobos à faible altitude (moins de 50 mètres) où un rayon laser aurait vaporisé des échantillons de la surface, l'analyse étant faite à bord de la sonde par spectrométrie de masse; plus tard, la sonde devait éjecter des pénétrateurs vers Phobos afin de faire des analyses en dessous de la surface. La décision technologique prise quant aux sondes futures porte sur un renforcement des alimentations électriques et une réétude de leurs logiciels de sécurité. Malgré la limitation à deux mois des observations dans une orbite non-optimale, les mesures effectuées constituent souvent des premières où sont égales ou supérieures à celles de Mariner 9, Mars 5 et surtout Viking qui l'ont précédé autour de la planète rouge.

Les résultats scientifiques obtenus ont fait l'objet de communications dans un numéro spécial de la revue « Nature » en septembre 1989 et feront l'objet d'un volume de la revue « Planetary and Space Science » à paraître cette année encore. Les résultats portant sur la physique solaire (observations en rayonnements X, gamma et en flux d'électrons et d'ions) peuvent être corrélés à l'activité solaire et leur analyse, comme celle de toutes les longues séries, n'en est qu'à son début. De même, la sonde emportait le premier instrument spatial spécialisé dans l'étude de l'hélioséismologie par des mesures de l'irradiance solaire dans l'ultraviolet (335 nm), le visible (500 nm) et le proche infrarouge (865 nm). La longue période d'observation continue (en l'absence de cycle jour-nuit) doit permettre d'atteindre les modes internes à basse fréquence par delà les oscillations rapides de surface.

La magnétosphère de Mars avait seulement été étudiée auparavant de 1971 à 1974 par les sondes soviétiques Mars 2, Mars 3 et Mars 4; en outre, les atterrisseurs de Viking avaient amené à conclure à l'absence de champ magnétique martien. *Phobos*, par son orbite très excentrique, est le premier vaisseau spatial à avoir traversé la queue de la magnétosphère martienne à plusieurs reprises; par comparaison avec les observations vénusiennes, un faible champ magnétique propre peut être déduit des mesures effectuées de densité d'ions et d'électrons, la taille de la queue restant importante même en période d'activité solaire élevée. L'analyse préliminaire des données montre une magnétosphère induite par l'activité solaire au delà de 2,7 rayons martiens tandis que plus bas une magnétosphère propre prend le relais. Malheureusement, comme pour Vénus et pour la Terre, les relations entre le champ magnétique et la structure interne sont encore théoriques; cette observation milite cependant pour l'installation future de séismomètres, magnétomètres et gravimètres précis à la surface. Des séismomètres étaient présents sur les atterrisseurs de Viking mais, hélas, ils ont surtout été efficaces comme anémomètres détecteurs de rafales!

Les résultats d'imagerie sont encore très loin d'être dépouillés, ils ont été obtenus par une caméra CCD développée en collaboration entre l'Institut de Recherches Spatiales IKI, l'Institut de Recherches Spatiales bulgare et

(C) MCH PH CCOF	0050C	21:02:89
PPH PUP CCO	PACTOPIHE: 1100KI PASPEBHEHE: 1100KI / 200KI	

(C) MCH PH CCOF	0050C	21:02:89
PPH PUP CCO	PACTOPIHE: 950 KI PASPEBHEHE: 180KI / 900KI	

(C) MCH PH CCOF	0050C	28:02:89
PPH PUP CCO	PACTOPIHE: 520 KI PASPEBHEHE: 140 KI	

(C) MCH PH CCOF	0050C	28:02:89
PPH PUP CCO	PACTOPIHE: 440 KI PASPEBHEHE: 75 KI	

(C) MCH PH CCOF	0050C	28:02:89
PPH PUP CCO	PACTOPIHE: 750 KI PASPEBHEHE: 600 KI / 500 KI	

(C) MCH PH CCOF	0050C	28:02:89
PPH PUP CCO	PACTOPIHE: 520 KI PASPEBHEHE: 140 KI	

◀ **Figure 1: Images de Phobos obtenues par la caméra VSK-Fregat montrant des données à haute résolution du satellite, notamment la région à l'ouest du cratère Stickney non observée par Viking.**

[Document IKI, Acad. Sc. U.R.S.S]

l'Université d'Helsinki. Les images obtenues permettent un traitement photométrique à plusieurs longueurs d'onde, notamment dans le bleu, le visible total et le proche infrarouge. La supériorité des images par rapport aux missions précédentes effectuées au moyen de tubes vidicons est évidente, mais les possibilités de traitement sont telles que les résultats définitifs ne seront publiés que dans plusieurs années. Des techniques originales de restitution d'image sont actuellement développées, pour ce projet, dans deux instituts en R.D.A., l'étude de couleurs est effectuée par des scientifiques de l'agence spatiale de R.F.A. Les images les plus belles montrées jusqu'à présent se rapportent à Phobos; elles complètent parfaitement les images de Viking et permettent d'établir pour la première fois une géographie complète du satellite. L'albédo en est très faible (entre 0,07 et 0,10) avec des zones plus brillantes au bord des jeunes cratères et au fond des sillons, tout paraît indiquer une tectonique très active due probablement à de nombreux séismes induits par collision. L'absence de données sur la composition de ces zones colorées fait encore plus regretter le non-accomplissement du survol. Un échantillon des résultats est présenté par la figure 1.

Les images les plus spectaculaires de la planète Mars viennent, par contre, d'une caméra thermique développée par la société commerciale GLAVKOSMOS pour l'observation de la Terre. L'image y est obtenue vers 10 microns, dans le visible et le très proche infrarouge; l'étude simultanée des deux images permet des déterminations du relief en même temps qu'une détermination des températures car l'ombre portée par Phobos sur la surface montre en particulier un refroidissement spectaculaire du sol de Mars à la moindre interruption du flux solaire. Parmi les résultats, on note la découverte d'une falaise de plus de mille mètres d'altitude non détectée par Viking dans la région équatoriale. Des scientifiques américains du California Institute of Technology, dont un ancien directeur du Jet Propulsion Laboratory, participent à l'interprétation des images et, ici aussi, les progrès sont si surprenants qu'on peut dire avec quasi-certitude que les futurs explorateurs de Mars auront non seulement des cartes de qualité mais encore qu'ils se seront entraînés au moyen de vues suffisamment fidèles pour reconnaître les paysages qu'ils vont rencontrer.

L'analyse de la surface de Mars était confiée au spectro-imageur I.S.M. réalisé en coopération entre l'Institut d'Astrophysique Spa-

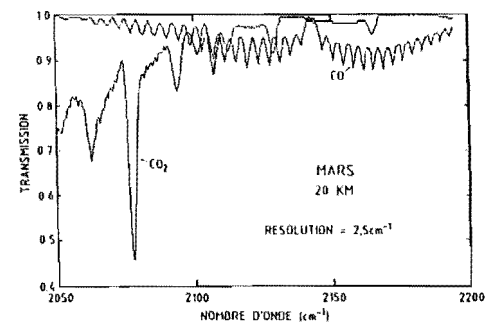
tiale (Orsay), le Département de Recherches Spatiales de l'Observatoire de Meudon et l'IKI (Moscou), l'instrument observe le nadir entre 1 et 6 micromètres. Il a échantillonné les principales formations géologiques de Mars à l'exception des calottes polaires et a détecté des variations importantes de terrain autour de la vallée des Mariners; il a pu identifier clairement la présence de silicates sur tous les spectres et l'analyse actuelle porte surtout sur la recherche du degré d'hydratation des roches et des poussières de surface. Les résultats les plus inattendus viennent de l'atmosphère martienne où cet instrument identifie le monoxyde de carbone avec certitude et confirme la possibilité d'en faire des observations précises avec des instruments spécifiques.

L'instrument franco-soviétique Auguste, de sondage de l'atmosphère par occultation au limbe, a fonctionné et donné des résultats malgré une orbite aussi peu optimale pour ces observations si tangentes (au sens propre); les résultats obtenus, encore en cours d'interprétation, ne permettront cependant pas encore de séparer l'ozone des aérosols; ils montrent des couches absorbantes en fonction de l'altitude et des oscillations de la concentration de la vapeur d'eau en fonction de l'altitude, atteignant parfois la saturation. L'absence d'une mesure simultanée de température ne permet pas de savoir si on est en présence d'ondes orographiques ou si des réactions chimiques hétérogènes sur les gouttelettes d'aérosol expliquent le phénomène; les questions posées par cette mesure, loin de clore celles ouvertes par Mariner 9 et Mars 5, élargissent encore le débat aéronomique et donc la discussion sur la capacité de Mars à préserver une atmosphère dense et respirable.

La pression au sol actuellement ne dépasse pas 10 mb et correspond à celle observée sur terre à 30 km d'altitude; le ciel, d'un blanc rosé, y indique une grande quantité de petites poussières peut-être réactives et le radical hydroxyle OH y est en abondance telle que toute surface exposée est instantanément stérilisée. La courte mission de *Phobos* n'a pas permis de trouver une région où les conditions étaient plus favorables, notamment près des pôles où l'apparition d'une couche d'ozone pourrait protéger une forme de vie; par ailleurs, il se confirme qu'aucune molécule organique, même pas HCN, n'a encore été observée ni dans l'atmosphère ni sur la surface de Mars. *Phobos* n'avait pas d'objectif précis d'exobiologie; cependant, les études à ce sujet continuent dans les programmes américains et soviétiques, les meilleures cibles sont mal accessibles à la télé-détection, elles sont soit sous la roche, dans des poches de permafrost, soit aux endroits où le triple point de l'eau (où coexistent la glace, l'eau liquide et la vapeur d'eau) peut être atteint, près des calottes et au fond des

vallées profondes. Les missions futures prévoient des déplacements de véhicules et des forages, la recherche de micro-fossiles et de traces de vie fera certainement partie de ce programme.

Les deux campagnes suivantes sont prévues en 1992, avec Mars Observer qui sera essentiellement un satellite cartographique avec un seul instrument de recherche atmosphérique, un sondeur infrarouge au limbe (du Jet Propulsion Laboratory) et ensuite en 1994, où deux sondes de type *Phobos* étudieront la planète pour une mission incluant le lâcher de pénétrateurs et le vol d'un ballon dans l'atmosphère de Mars. L'Institut d'Aéronomie Spatiale participe à la construction d'un instrument de sondage au limbe dans le cadre de la mission soviétique Mars 94; cet instrument observera avec précision les distributions verticales des aérosols, de l'ozone, du dioxyde de carbone, du monoxyde de carbone et de la vapeur d'eau. L'observation se fait en utilisant deux ensembles, l'un observe l'occultation solaire, l'autre effectue des occultations d'étoiles et sera suffisamment précis pour réaliser des observations de sismologie durant la croisière. Les partenaires impliqués sont le Service d'Aéronomie du C.N.R.S. (France) et l'Institut de Recherches Spatiales (IKI). Le poids très limité, environ vingt kilos, restreint fortement les performances, spécialement en matière de résolution spectrale et de sensibilité des détecteurs. Les premières études datent de 1987 et les résultats d'un grand nombre d'instruments possibles ont été simulés et évalués. Enfin, un accord sur les domaines spectraux à observer est intervenu en 1989 conduisant immédiatement, par conception assistée par ordinateur, à des plans et maquettes. La figure 2 montre un exemple des conditions dans lesquelles CO sera observé.



**Figure 2: Calcul du spectre infrarouge du monoxyde et du dioxyde de carbone à l'altitude de 20 km au limbe de Mars. Cet intervalle a été choisi pour l'observation du monoxyde de carbone par l'instrument à participation belge SPICAM.**

Après Mars 94, les missions suivantes seront lancées par les fusées géantes ENERGIA et feront probablement l'objet de coopérations officielles avec la NASA; elles impliqueront de grands véhicules d'exploration et le retour d'échantillons. Finalement l'exploration habitée, envisagée vers 2020, pourra recueillir les fruits de 150 ans de télé-détection. ■