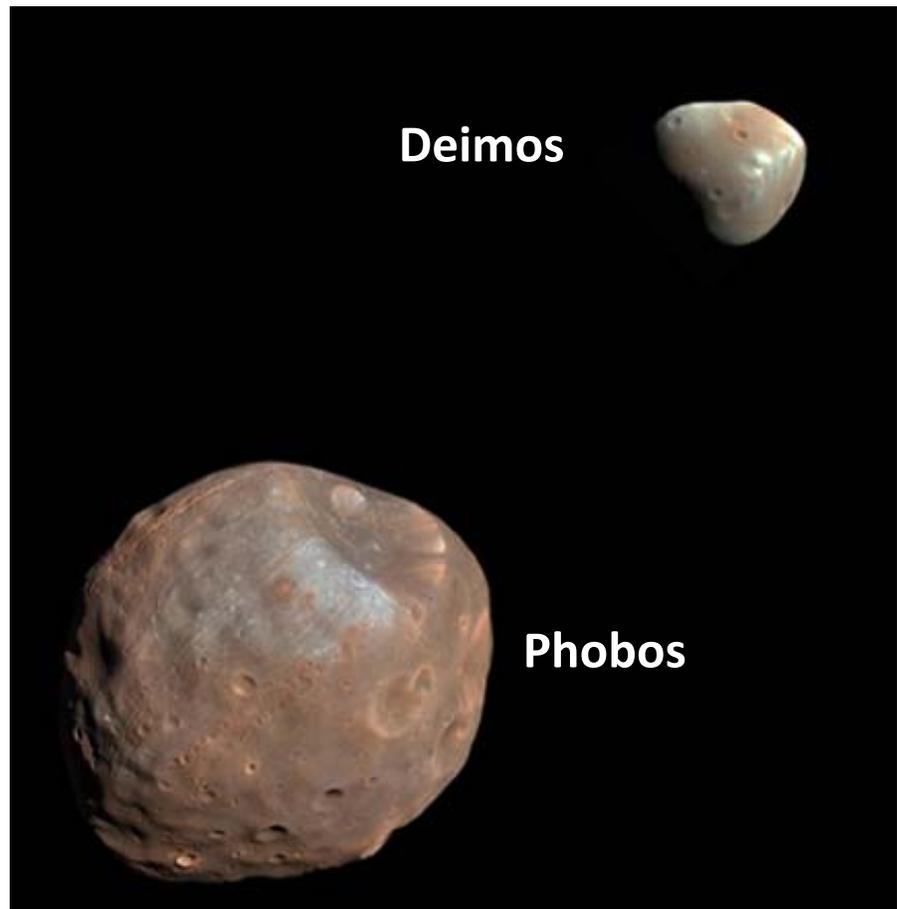


Martian Moons eXploration (MMX)

Laetitia Le Deit
Nicolas Mangold
Stéphane Le Mouélic
Pascal Rosenblatt
Marion Massé

Nantes, 3 juin 2022

Phobos & Deimos : Principales caractéristiques

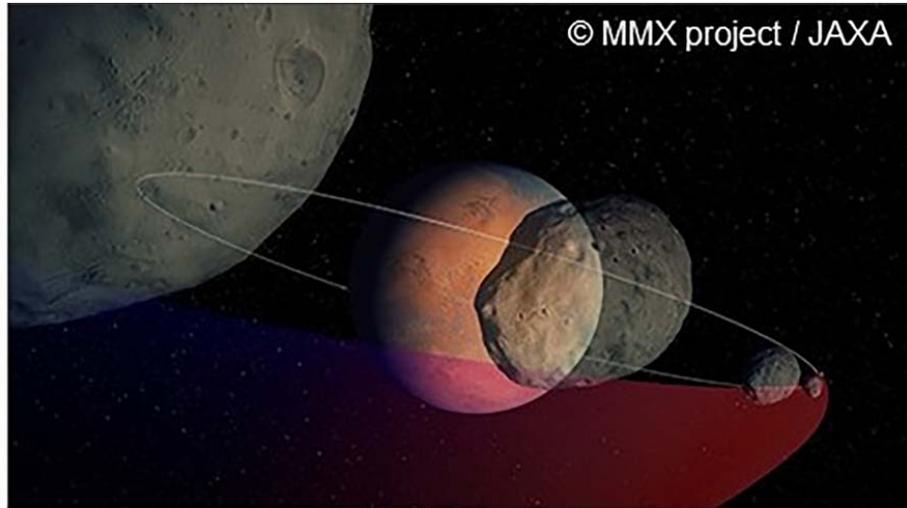


Images prises par la sonde Mars Reconnaissance Orbiter (NASA)

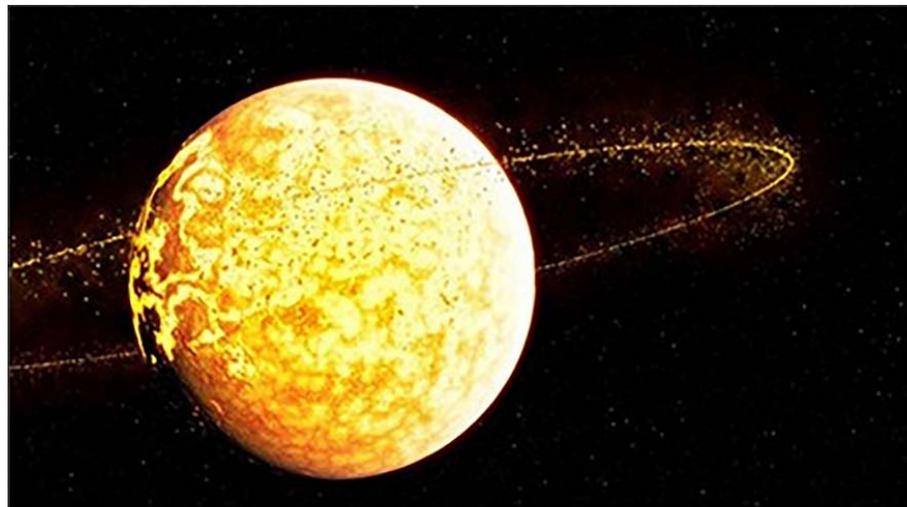
Paramètre	Phobos	Deimos	Mars	La Terre
Taille/diamètre [km]	13.3 × 11.1 × 9.1	7.5 × 6.1 × 5.2	6779	12742
Masse [kg]	1.0626 ± 0.0006 × 10 ¹⁶	1.51 ± 0.04 × 10 ¹⁵	6.418 × 10 ²³	5.973 × 10 ²⁴
Volume [km ³]	5621 ± 154	997 ± 49	1.631 × 10 ¹¹	1.083 × 10 ¹²
Masse volumique moyenne [g/cm ³]	1.89 ± 0.05	1.51 ± 0.07	3.93 ± 0.04	5.515
Gravité à la surface [m/s ²]	0.005	0.003	3.7	9.8
Excentricité	0.0151	0.00033	0.09339	0.0167
Inclinaison	1.093	1.791	1.85	0
Albédo géométrique	0.07 ± 0.012	0.068 ± 0.007	0.15	0.367

Kuramoto et al., Earth, Planets and Space 2022 (et références incluses)

2 hypothèses principales pour expliquer l'origine des lunes martiennes



Captured asteroid scenario



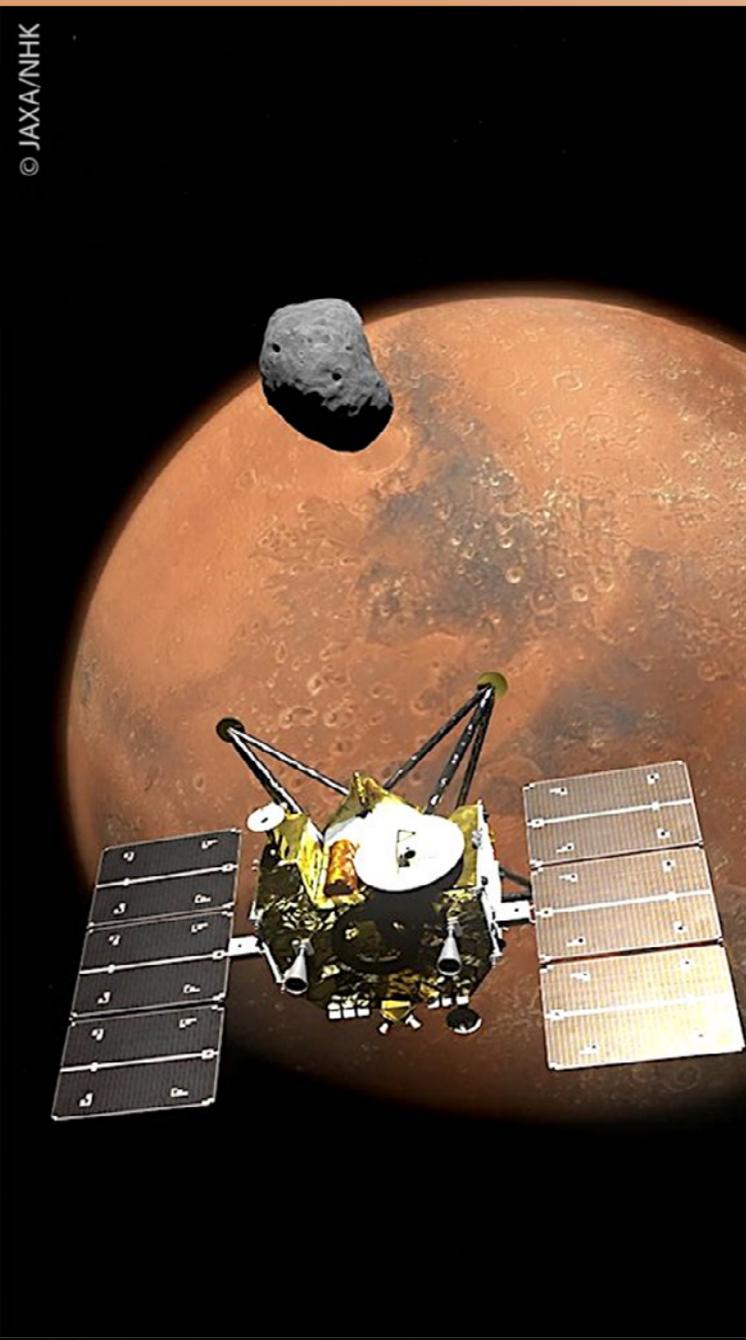
Giant impact scenario

Arguments « pour »

- Très **faible densité**
- **Signature spectrale VNIR très proche de celle des astéroïdes de type D et C** (compositions de chondrites carbonées avec présence de matière organique et de glaces)
- Très **faible inclinaison et excentricité** des orbites des lunes

Implications

- Comment ces lunes ont été transportées depuis le système solaire externe ?
- Témoignerait de l'apport d'eau et autres volatils du système solaire externe vers les planètes telluriques.
- Nature de l'impacteur ? De Mars primitif ?
- Influence sur la composition des lunes ?



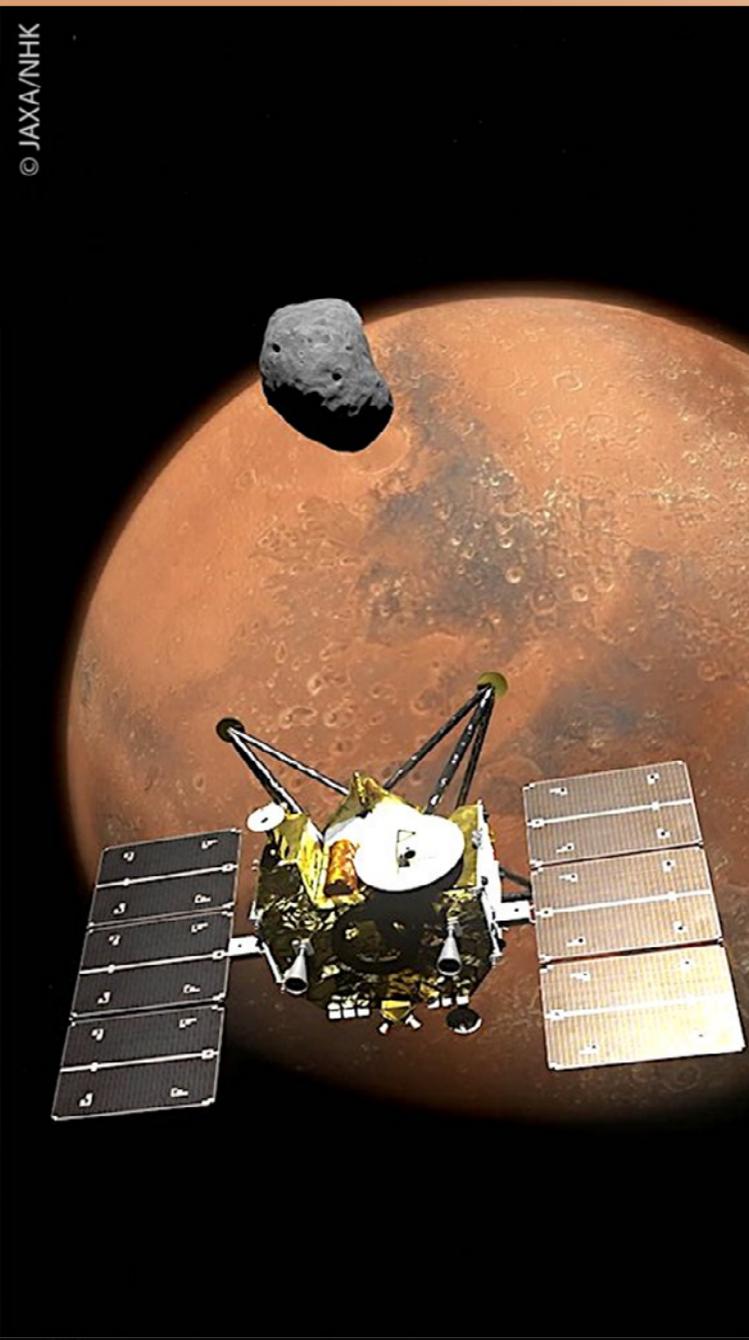
- Mission de la **JAXA** (Japan Aerospace Exploration Agency) en collaboration avec le CNES et le DLR.

Objectifs scientifiques

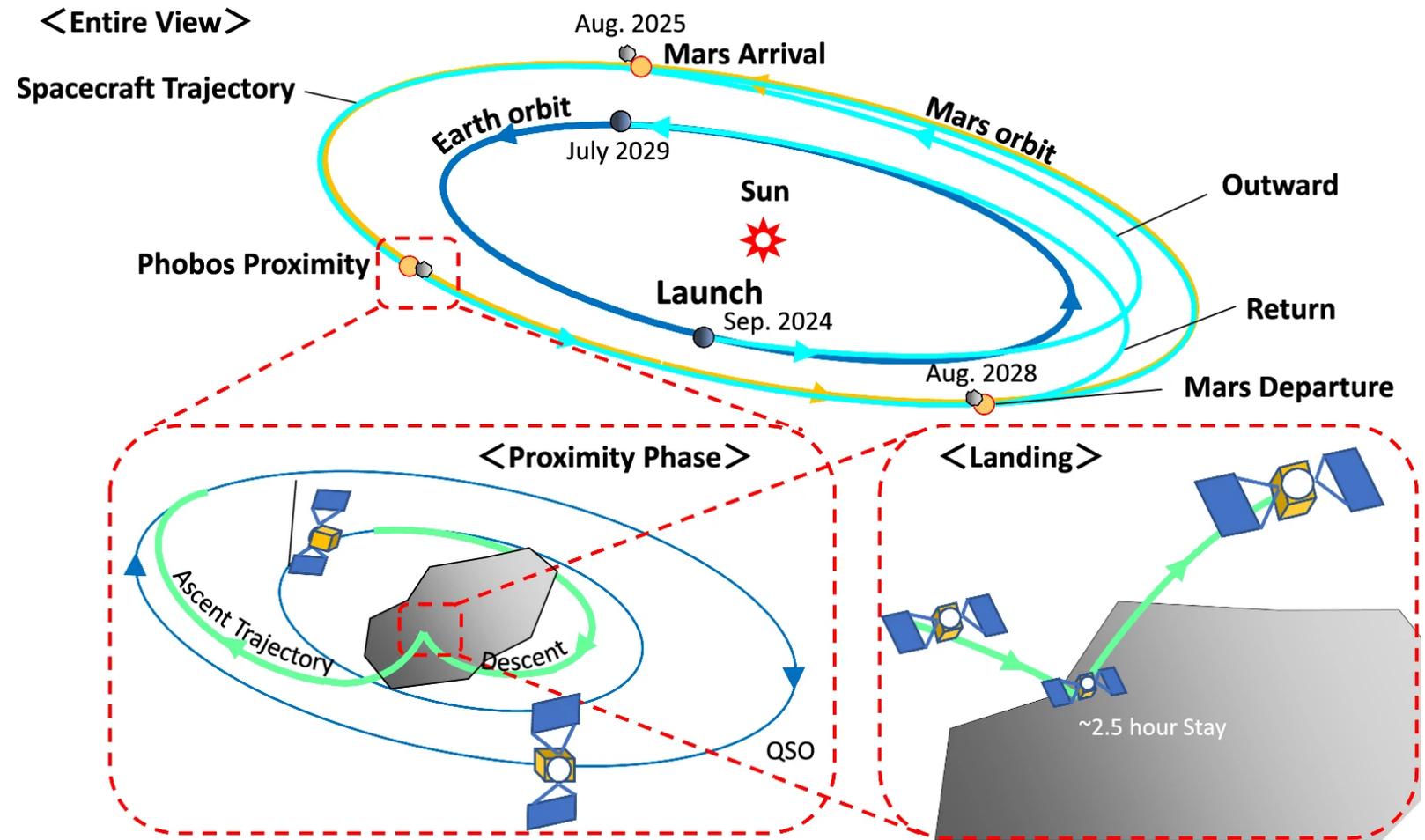
- Comprendre **l'origine des lunes martiennes** par des observations rapprochées et **par retour d'échantillons** → **1^{ère} mission de retour d'échantillons** de Phobos et de dépôt d'un rover à sa surface.
- Contraindre les **processus de formation planétaire et de transport de matériaux** dans la région reliant le système solaire intérieur et extérieur
- Révéler les processus à l'œuvre sur **l'évolution de la surface des lunes et de leur régolithe** dans l'environnement proche de Mars par rapport aux astéroïdes.
- Etudier la **distribution temporelle et spatiale des tempêtes de poussière, des nuages de glace et de la vapeur d'eau sur la planète Mars** (latitudes comprises entre $\pm 68^\circ$).

La mission MMX

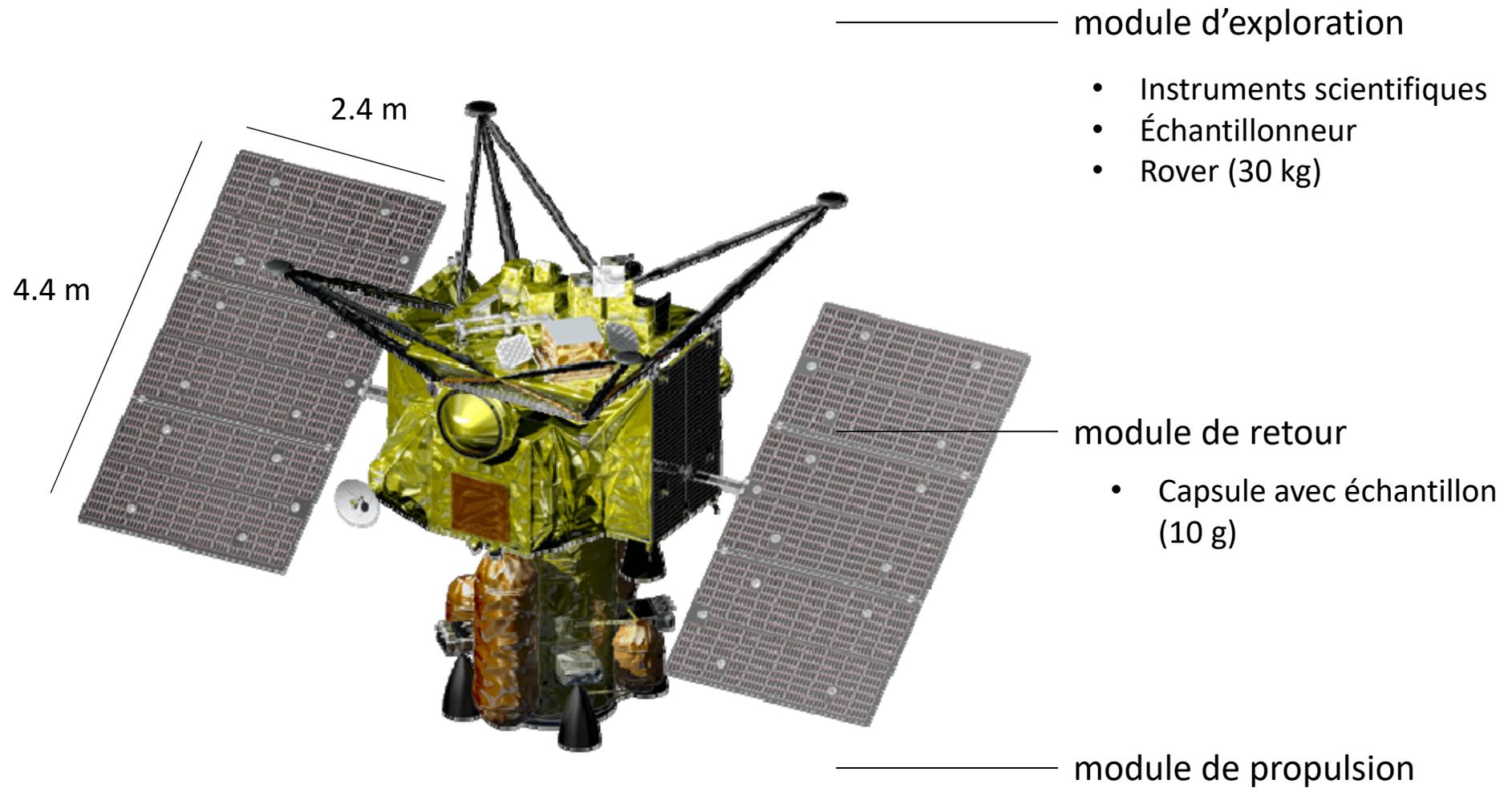
© JAXA/NHK



Lancement prévu en septembre **2024** pour un retour prévu en juillet **2029**.



Kuramoto et al., Earth, Planets and Space 2022



Design actuel de la sonde MMX (quatre tonnes)

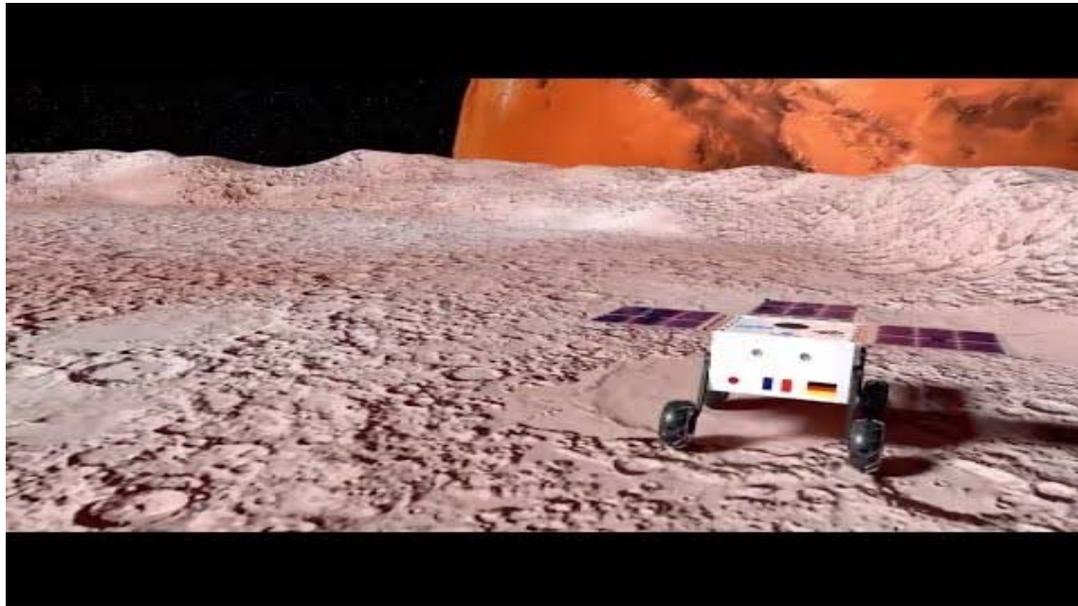
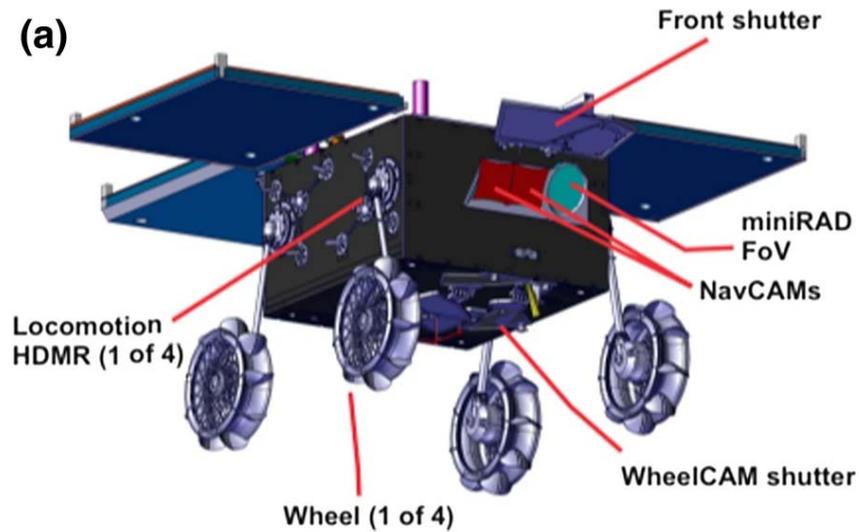
Les instruments scientifiques à bord de la sonde (1/2)

Instrument	Caractéristiques principales	Rôles
OROCHI (<i>Optical RadiOmeter composed of CHromatic Imagers</i>) Caméra multispectrale à grand angle	<ul style="list-style-type: none">• 8 canaux dans le visible et proche infrarouge• Résolution spatiale : 20 m (à 20 km d'altitude), 10 cm pour les sites d'atterrissage, 1 mm sur 1 m² sur les sites d'échantillonnage	Étude de la morphologie et de la composition de surface globale des lunes et des sites d'atterrissage ainsi que de la circulation de l'eau et de la poussière dans l'atmosphère martienne
TENGOO (<i>Telescopic Nadir imager for GeOmOrphology</i>) Caméra télescopique	<ul style="list-style-type: none">• Visible• Résolution spatiale : ~40 cm (à 20 km d'altitude)	
MIRS (<i>MMX InfraRed Spectrometer</i>)* Caméra hyperspectrale infrarouge	<ul style="list-style-type: none">• Gamme : 0.9–3.6 μm• Résolution spatiale : < 20m (à 20 km d'altitude) et de 1 m dans un rayon de 50 m autour des points de prélèvement.• Résolution spectrale : 10 nm	
LIDAR (<i>Light Detection and Ranging</i>) Altimètre laser	<ul style="list-style-type: none">• Résolution spatiale : < 22m (à 100 km d'altitude)• Trace au sol : 50 m (à 100 km d'altitude)	<ul style="list-style-type: none">• Forme, champ de gravité de Phobos• Topographie et rugosité de la surface

*Instrument construit par le **LESIA** – Observatoire de Paris, en collaboration avec 4 autres labo français et sous maîtrise d'œuvre du CNES

Les instruments scientifiques à bord de la sonde (2/2)

Instrument	Rôles
MEGANE (<i>Mars moons Exploration with GAMMA rays and Neutrons</i>) Spectromètre à rayons gamma et à neutrons	Concentration en Si, Fe, H et K dans les quelques premières dizaines de cm de la surface
MSA (<i>Mass Spectrometer Analyzer</i>) Spectromètre de masse	Observation des vents solaires et environnement ionique et magnétique de Mars
CMDM (<i>Circum Martian Dust Monitor</i>) Détecteur de poussière	Distribution en taille de grains de la poussière à partir de 10 μm .



Objectifs principaux

- Réduction des risques d'atterrissage
- Contribution aux objectifs scientifiques (propriétés mécaniques, dynamiques, et thermiques et minéralogie de la surface de Phobos)
- Démonstrateur technologique (déplacement par roues en faible gravité, autonomie)

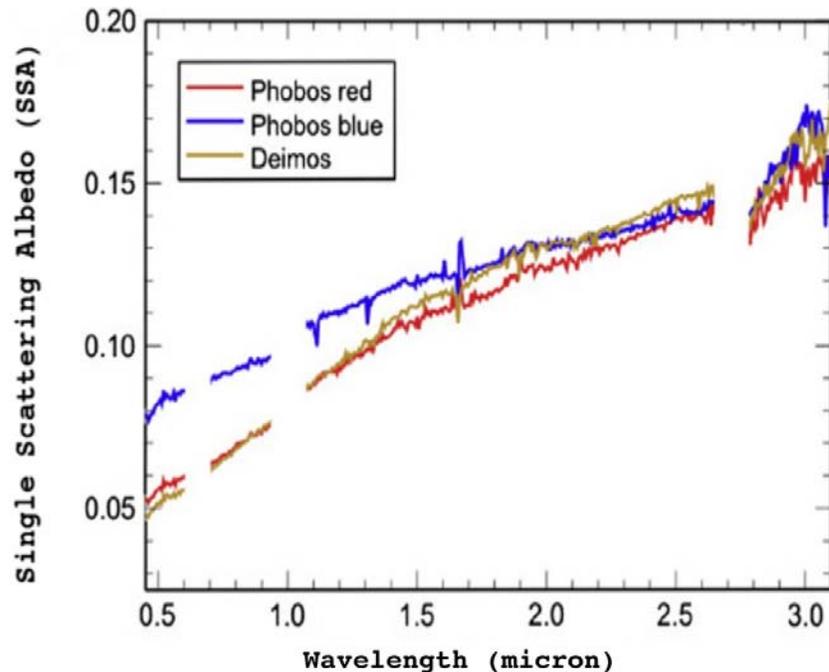
Instruments à bord

- Caméras de navigation (NavCams) et au niveau des roues (WheelCams)
- Radiomètre infrarouge (MiniRad)
- Spectromètre Raman (RAX)

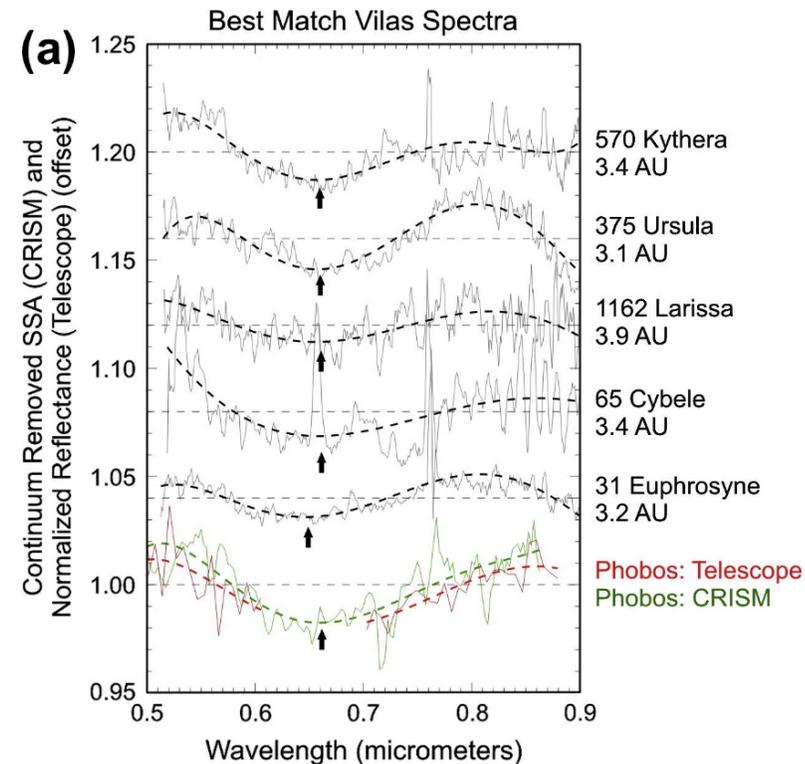


Objectifs scientifiques (*Barucci et al., Earth, Planets and Space, 2022*)

- 1) **Caractérisation de la composition minéralogique de la surface de Phobos** : répartition, s'il y en a, des minéraux hydratés (bandes d'absorption caractéristiques à 2,7-2,8 μm), des minéraux silicatés (bandes à 0.9-1 et 2.0 μm), de matière organique (3,3.-3,5 μm), ou de glace d'eau (bandes d'absorption à 1.5, 2.0 et 3,0-3,2 μm), avec une résolution spatiale horizontale de 20 m.
- 2) **Étudier la composition minéralogique de la surface de Deimos**, avec une résolution spatiale horizontale de 100 m ou mieux.
- 3) Contribuer à la **sélection des deux sites de collecte** des échantillons sur la surface de Phobos.



Spectres CRISM (MRO) des unités bleues et rouges de Phobos et de Deimos (Fraeman et al., 2014).



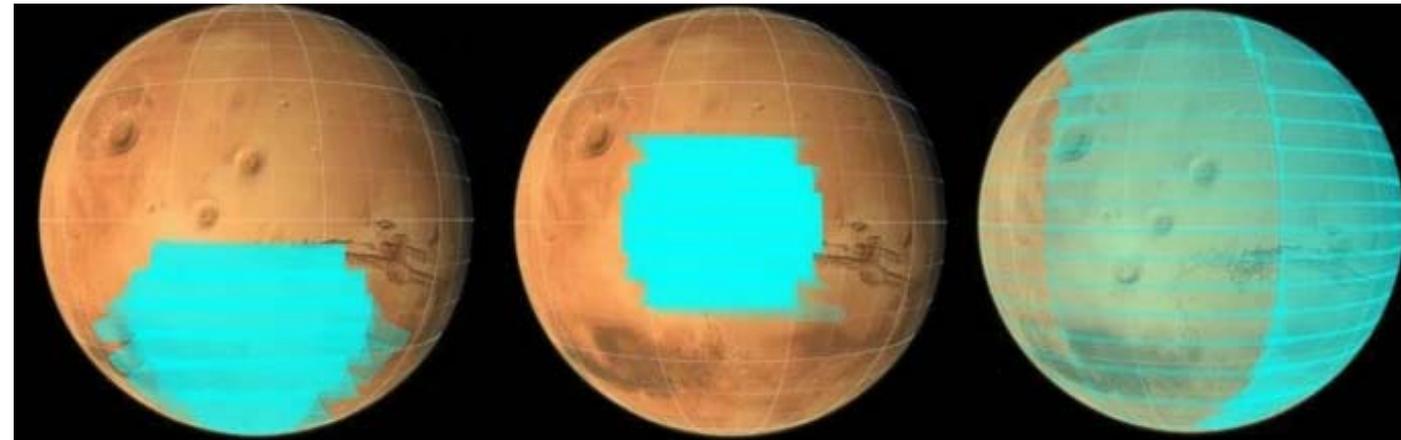
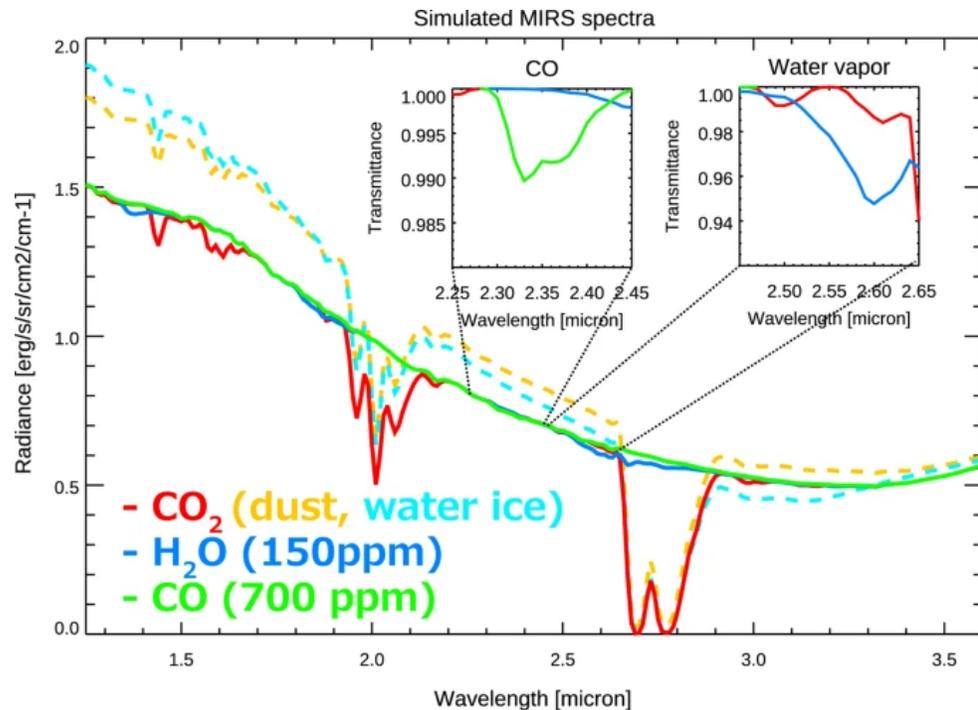
Spectres d'astéroïdes composés de matériel carboné présentant une bande d'absorption à 0.65 μm similaire à celle de l'unité rouge de Phobos et de Deimos. Indique potentiellement la présence de phyllosilicate déshydraté (Fraeman et al., 2014).

L'imageur hyperspectral MIRS (MMX InfraRed Spectrometer)



Objectifs scientifiques (Barucci et al., Earth, Planets and Space, 2022)

4) **Contraindre les processus de transport de poussière et d'eau près de la surface martienne** : des observations continues des tempêtes de poussière, de nuages de glace et de vapeur d'eau seront menées pour les latitudes moyennes et basses à partir de l'orbite équatoriale de haute altitude au cours de différentes saisons.



Exemples d'observations de Mars en décembre 2027. Gauche : 3 observations de 45 min sur 1h30. Centre : 5 observations de 30 min sur 2 heures. Droite : couverture globale de Mars éclairé (Barucci et al., Earth, Planets and Space, 2022)

Spectres synthétiques de l'atmosphère martienne attendus par MIRS (Barucci et al., Earth, Planets and Space, 2022)



Vidéo JAXA (2021) : <https://www.youtube.com/watch?v=yiS6NdpEL2A>