

# LE CNES DANS LA MISSION MMX



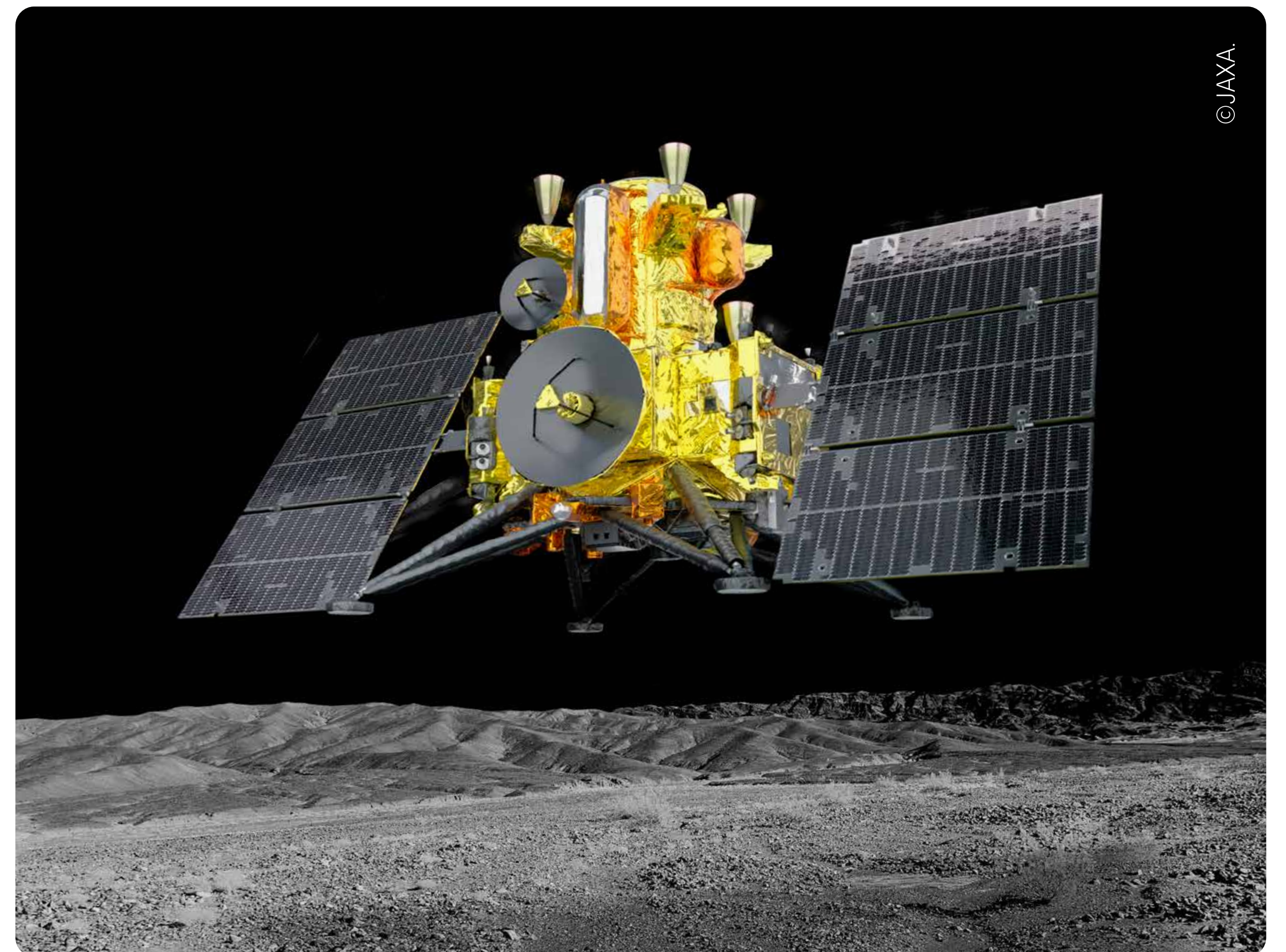
# MMX, UNE MISSION VERS LES LUNES DE MARS

La mission **MMX (Martian Moons eXploration)**, menée par l'agence spatiale japonaise JAXA, décolle fin 2026 pour explorer les deux lunes de Mars : Phobos et Deimos. Elle combine une phase d'observation avec une mission de retour d'échantillons vers la Terre.

La sonde est composée de **trois modules** :

- Un module de **propulsion** assure le voyage jusqu'à Mars.
- Un module d'**exploration** permet l'étude des lunes et le prélèvement d'échantillons sur Phobos.
- Un module de **retour** doit rapporter ces échantillons sur Terre.

La mission poursuit **trois grands objectifs** :



1

## DÉTERMINER L'ORIGINE DES LUNES DE MARS

Phobos et Deimos sont au cœur d'un débat scientifique autour de leur origine, leur composition, leur évolution et leur destin futur.

3

## RAPPORTER DES ÉCHANTILLONS DE PHOBOS SUR TERRE

Les échantillons prélevés à la surface de Phobos seront analysés en laboratoire afin de déterminer précisément sa composition chimique et minéralogique.

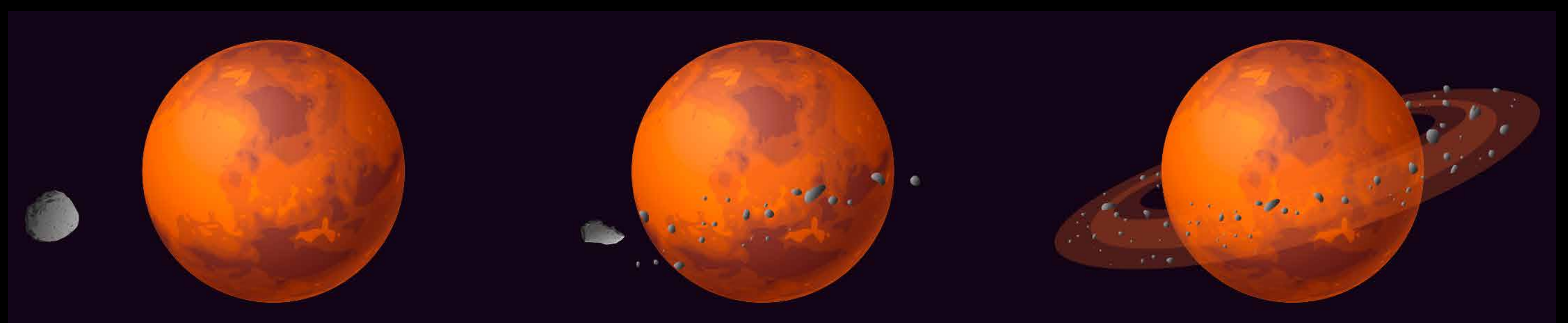
2

## MIEUX COMPRENDRE L'ÉVOLUTION DU SYSTÈME MARTIEN

L'analyse de leur composition et de leur structure permet de retracer les interactions passées avec Mars et l'évolution de son système.

## LE SAVIEZ-VOUS ?

*Phobos se rapproche progressivement de Mars. Dans environ 30 à 50 millions d'années, elle pourrait se désagréger et former un anneau autour de la planète.*



# PHOBOS ET DEIMOS, UNE ÉNIGME SCIENTIFIQUE

Mars possède deux satellites naturels :  
**Phobos** et **Deimos**.

Ces deux lunes martiennes intriguent les scientifiques depuis leur découverte. Leur origine, encore incertaine, soulève des questions fondamentales sur la formation des planètes et l'histoire du Système solaire.

Ce sont de très petits corps, bien plus légers que notre Lune : Phobos et Deimos sont respectivement **7 millions** et **50 millions** de fois moins massifs que notre satellite naturel ! Phobos orbite à moins de **6 000 km** de Mars. Plus éloignée, Deimos évolue à environ **23 000 km** de Mars.



## LE SAVIEZ-VOUS ?

*Les noms Phobos et Deimos viennent de la mythologie grecque. Fils du dieu Arès (Mars) et d'Aphrodite, ils incarnent respectivement la peur et la terreur.*



Leur origine reste aujourd'hui inconnue et laisse place à deux hypothèses principales :

1

### DES ASTÉROÏDES CAPTURÉS

Phobos et Deimos pourraient provenir de la ceinture d'astéroïdes et avoir été capturées par la gravité de Mars. Elles constitueraient alors des témoins primitifs du Système solaire.

2

### LES VESTIGES D'UN IMPACT GÉANT

Ces lunes pourraient également être issues d'une collision entre Mars et un autre corps céleste. Elles seraient alors formées de débris provenant à la fois de Mars et de l'objet impactant.

# LE ROVER IDEFIX® : EXPLORER PHOBOS



Explorer la surface de Phobos constitue un défi de taille. Cette mission repose sur un robot mobile capable d'évoluer dans un environnement extrême et encore jamais exploré de cette manière.

## ÉCLAIREUR

**Idefix®** étudiera la surface de **Phobos**, en particulier le **régolithe**, la couche de poussière et de grains qui recouvre Phobos, afin de caractériser ses propriétés mécaniques. Ces données permettront aussi de préparer les opérations d'atterrissage de la **sonde MMX**.

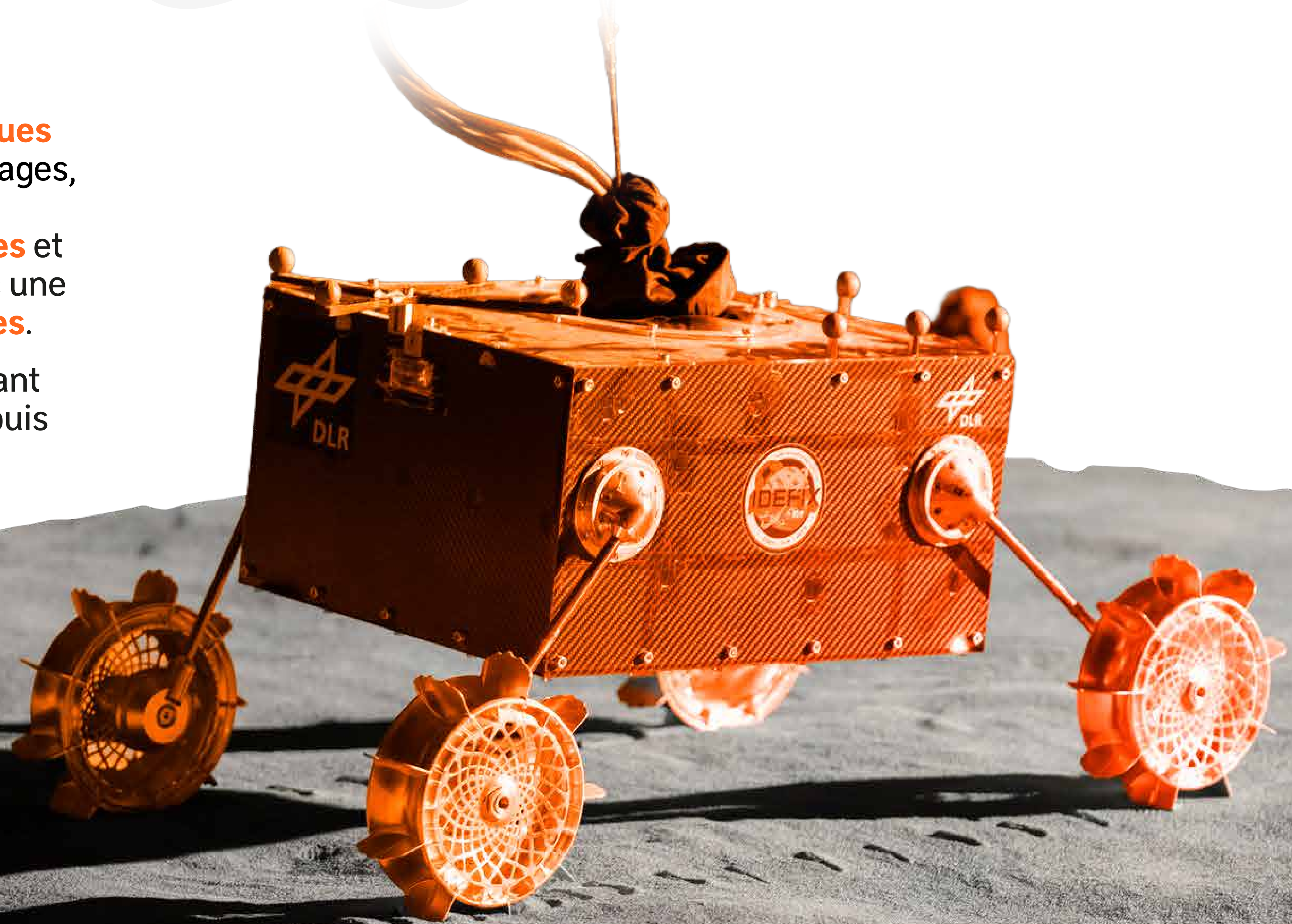
## EXPLORATEUR

**Idefix®** réalisera des **mesures scientifiques directement à la surface** de Phobos : images, flux infrarouge et spectrométrie Raman. Il pourra parcourir entre **30 et 100 mètres** et observer le sol à une échelle inédite avec une résolution allant jusqu'à **100 micromètres**.

Après son largage, le rover **rebondira** avant de **se redresser** de manière autonome, puis déploiera ses panneaux solaires.

## DÉMONSTRATEUR

Le rover **Idefix®** est un démonstrateur de **technologie** : il mettra en œuvre des équipements récents des nanosatellites dans un contexte interplanétaire. Il testera la **locomotion à roues en très faible gravité**, ainsi que la **navigation autonome**. Ces résultats permettront d'ouvrir de nouvelles perspectives pour l'exploration des petits corps du Système solaire.



**OUAF!**

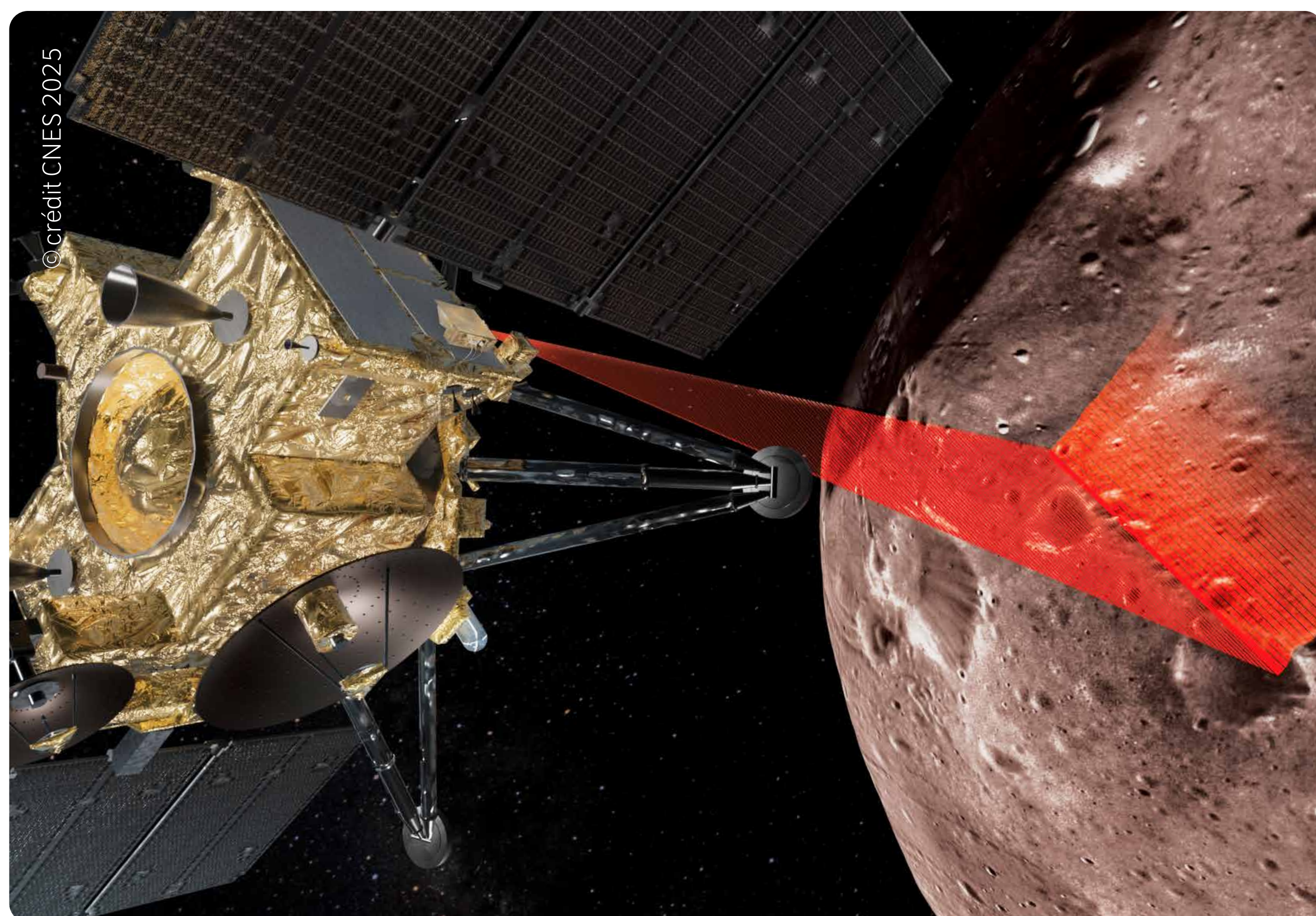


## LE SAVIEZ-VOUS ?

Le nom **Idefix®** est un clin d'œil à l'univers d'Astérix, en référence au premier satellite français Astérix lancé en 1965.

# MIRS\*

## UN INSTRUMENT FRANÇAIS POUR PERCER LES SECRETS DES LUNES MARTIENNES

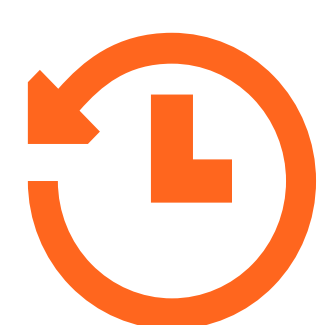


**MIRS est un spectromètre imageur proche infrarouge** embarqué à bord de la sonde MMX. Il a été développé sous la responsabilité du CNES avec le LIRA (Laboratoire d'instrumentation et de recherche en astrophysique) - CNRS/Observatoire de Paris, et plusieurs partenaires scientifiques. L'instrument **analyse la lumière réfléchie par la surface des lunes de Mars afin d'identifier leur composition.**

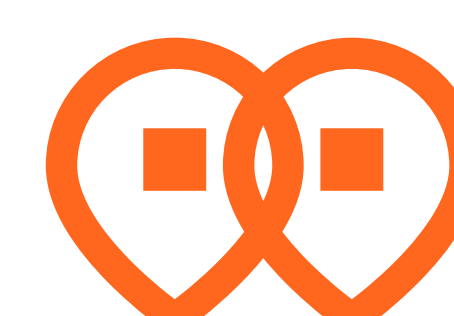


 **10** KG

C'est la masse de l'instrument, un concentré de technologie dans une boîte à chaussures.

 **3** ANS

MMX observera le système martien pendant 3 ans. Les opérations seront menées depuis le **CNES** à Toulouse.

 **SÉLECTION**

MIRS contribuera à la sélection des deux sites de collecte des échantillons à la surface de **Phobos**.

 **DE 20 M À QUELQUES CENTIMÈTRES**

La résolution des mesures sera inédite : de 20 mètres lors des premières observations à quelques centimètres lorsque la sonde descendra se poser à la surface.

 **100 + 40**

Plus de 100 ingénieurs et techniciens sont impliqués dans le développement de **MIRS** auxquels il faut ajouter 40 scientifiques.

 **H<sub>2</sub>O CO<sub>2</sub>**

MIRS pourra révéler la présence de matière organique ou d'eau grâce à la bande passante du spectromètre (0,9 - 3,6  $\mu$ m). L'instrument sera également pointé vers l'atmosphère martienne pour observer l'apparition et l'évolution de tempêtes de poussière et la présence de nuages.

### LE SAVIEZ-VOUS ?

Chaque matériau absorbe la lumière de manière unique. Cette "signature spectrale" permet d'identifier la composition d'une surface sans jamais la toucher.

|        |         |          |           |          |
|--------|---------|----------|-----------|----------|
| 29     | 30      | 31       | 32        | 33       |
| Cu     | Zn      | Ga       | Ge        | As       |
| Copper | Zinc    | Gallium  | Germanium | Arsenic  |
| 47     | 48      | 49       | 50        | 51       |
| Ag     | Cd      | In       | Sn        | Sb       |
| Silver | Cadmium | Indium   | Tin       | Antimony |
| 79     | 80      | 81       | 82        | 83       |
| Au     | Hg      | Tl       | Pb        | Bi       |
| Gold   | Mercury | Thallium | Lead      | Bismuth  |

\*MMX InfraRed Spectrometer



# LA DYNAMIQUE DU VOL : UN DÉFI TECHNIQUE

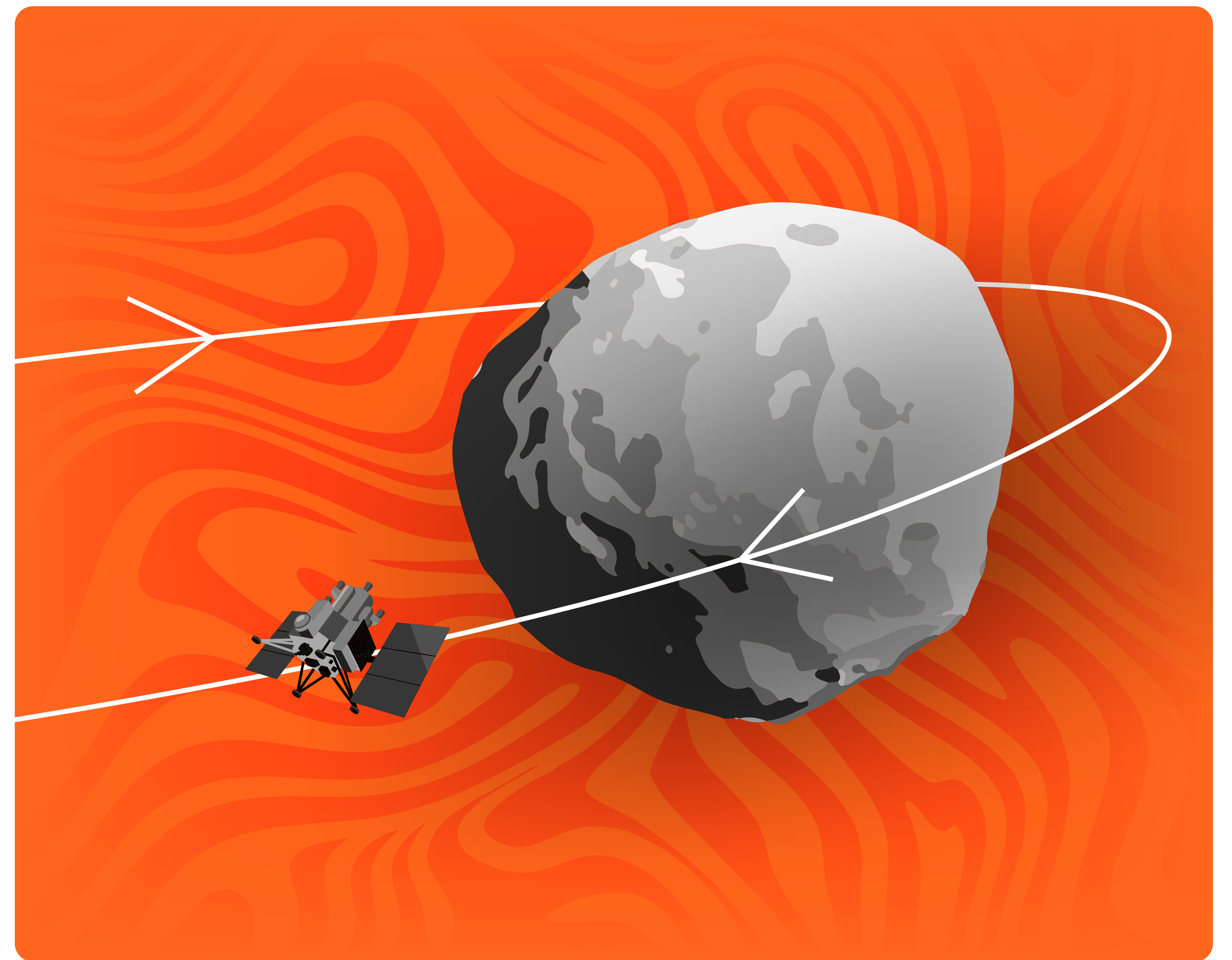
Naviguer autour de **Mars** et de ses lunes demande une grande précision.

Chaque phase de la mission repose sur des **calculs complexes** pour **guider la sonde** dans un environnement instable.

La **mission MMX** repose sur une étude des trajectoires et des mouvements de la sonde autour de Mars et de ses lunes. Depuis 2017, les équipes du **CNES**  collaborent avec l'agence spatiale japonaise **JAXA**  pour concevoir et optimiser ces phases de vol.

Le **CNES** apporte son expertise dans les opérations à proximité de petits corps, acquise lors de missions précédentes comme **Rosetta** ou **Hayabusa2**. Cette connaissance permet de sécuriser l'approche de **Deimos**, la mise en orbite et les phases d'observation de **Phobos**, ainsi que les opérations critiques de descente à la surface et récupération d'échantillons de cette lune.

Les équipes dynamique du vol interviennent de la **conception préliminaire** des trajectoires jusqu'aux **opérations** et accompagnent également les autres contributions françaises de la mission.



## Objectif

Définir et maîtriser les trajectoires de la sonde pour garantir le succès des phases d'observation, d'approche et de retour d'échantillons.

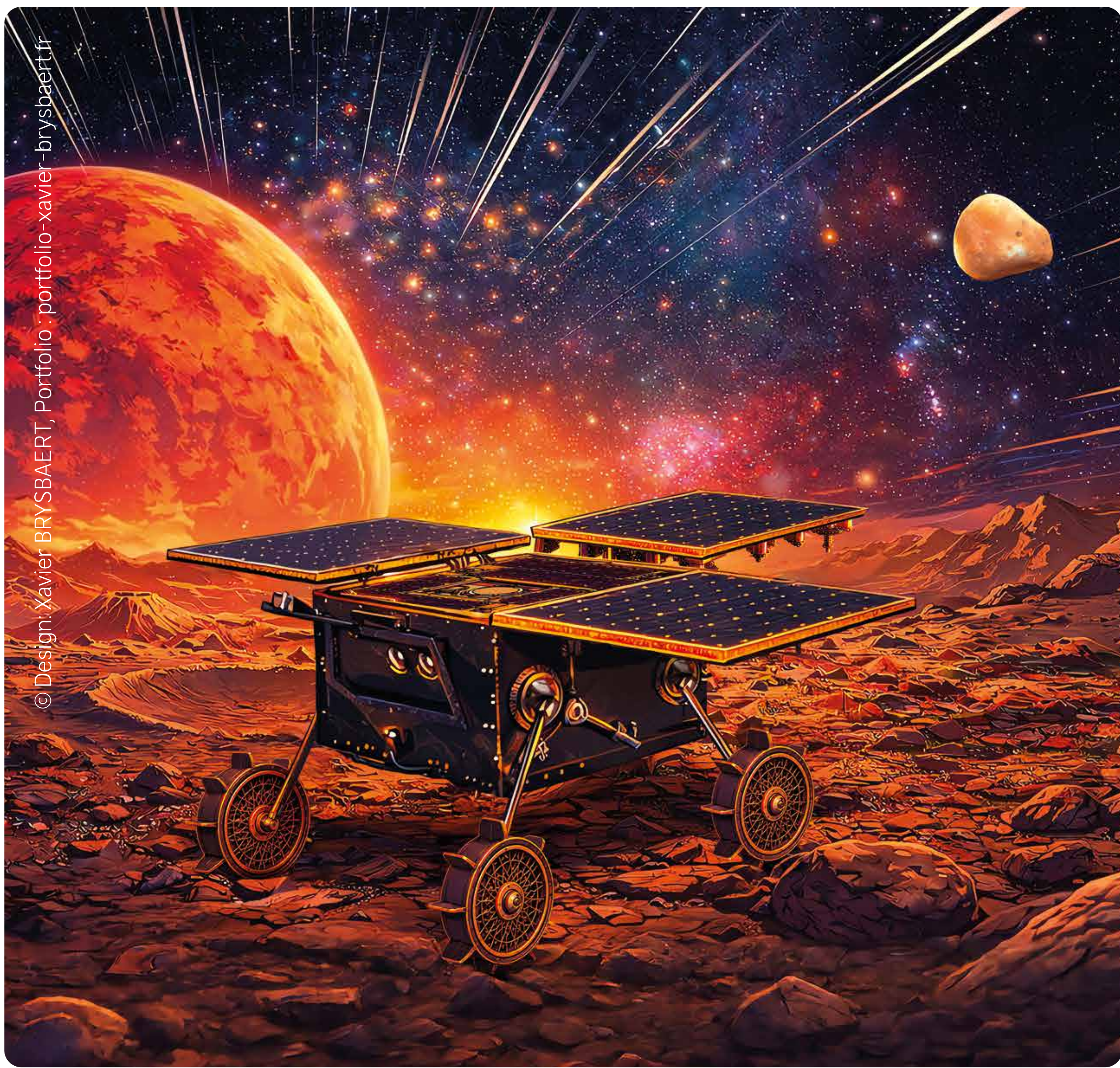
## LE SAVIEZ-VOUS ?

*La gravité sur Phobos ne représente qu'environ 0,06% de celle sur Terre : un humain de 70kg ne pèserait que 40g sur Phobos !*



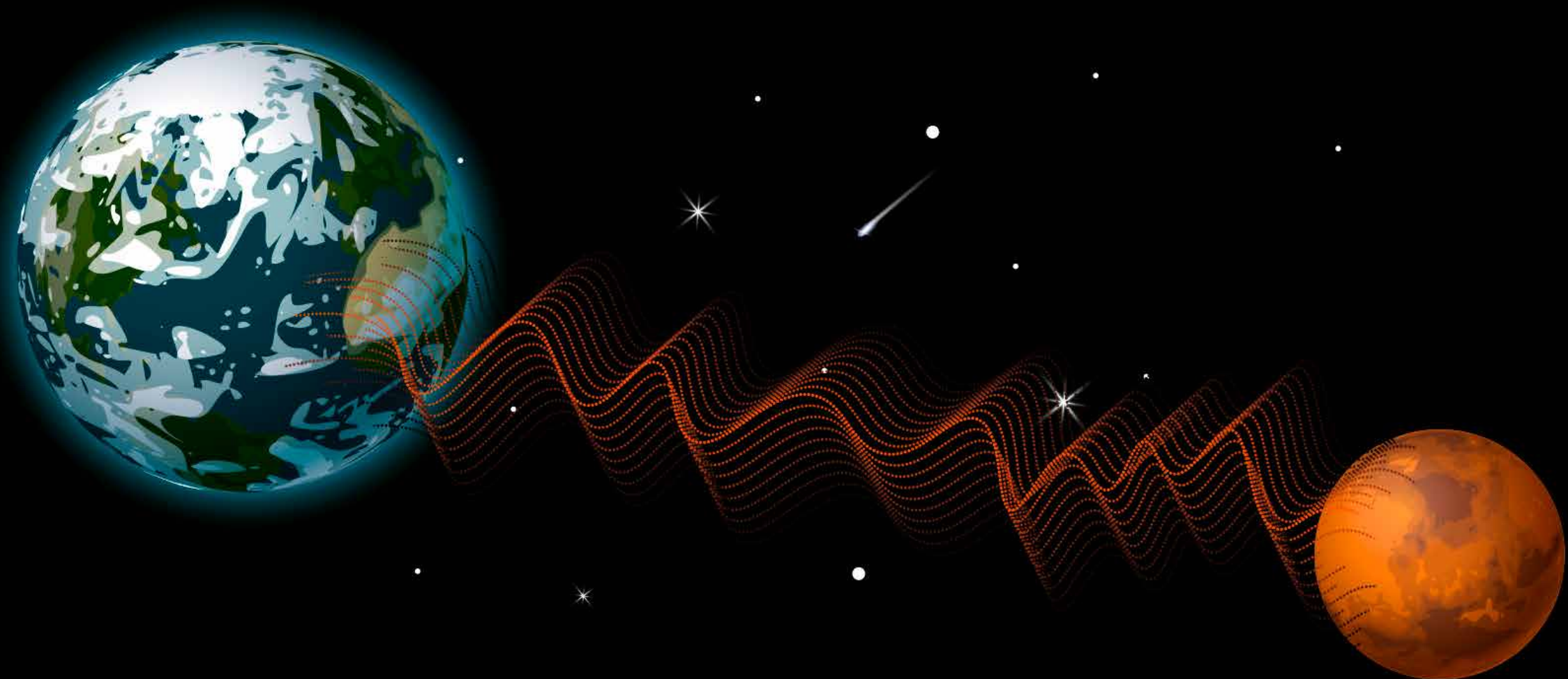
# LE DÉROULÉ DE LA MISSION

La mission MMX se déroule sur **plusieurs années**, du lancement jusqu'au retour d'échantillons sur Terre.  
Elle comprend **différentes phases clés**, de l'arrivée autour de Mars à l'exploration de Phobos,  
avant un voyage de retour vers la Terre.



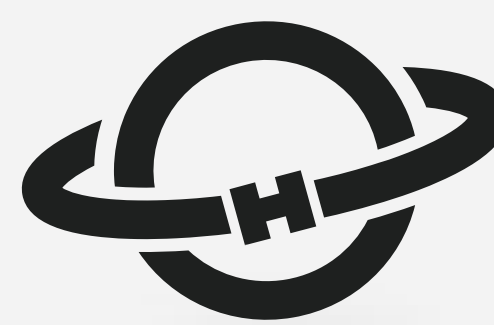
## LE SAVIEZ-VOUS ?

*Entre Mars et la Terre, un signal met entre 5,5 et 21 minutes pour voyager. La sonde doit donc fonctionner de manière largement autonome.*



**Octobre 2026**

Lancement de la mission MMX depuis le Japon



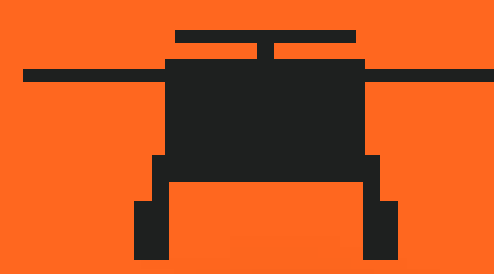
**Août 2027**

Arrivée autour de Mars



**Septembre 2027**

Mise en orbite autour de Phobos



**Décembre 2028**

Déploiement du rover Idefix®



**Début et mi 2029**

Collecte d'échantillons de Phobos



**Été/Automne 2030**

Fin des observations de Phobos et survols de Deimos



**Novembre 2030**

Départ du module de retour vers la Terre



**Juillet 2031**

Retour des échantillons sur Terre

# UNE COOPÉRATION INTERNATIONALE

Une mission spatiale de cette ampleur mobilise de nombreux acteurs. Elle s'appuie sur des **collaborations entre agences, laboratoires et équipes scientifiques** à l'échelle internationale.



La mission **MMX** est pilotée par l'agence spatiale japonaise **JAXA**, responsable de la sonde, de son lancement, du contrôle de la mission et du retour des échantillons sur Terre. Elle repose sur plusieurs accords internationaux.

La participation française s'inscrit dans un accord franco-japonais structuré autour de trois contributions majeures. Le **CNES** collabore avec la **JAXA** sur la conception des trajectoires et la navigation autour des lunes martiennes. Il assure également le développement et l'exploitation de l'instrument **MIRS**, ainsi que la réalisation du rover **Idefix®** en coopération avec l'agence spatiale allemande **DLR**.

D'autres partenaires participent à la mission, notamment la **NASA** avec un instrument scientifique et l'**ESA** pour le système de communication.

Cette coopération s'appuie également sur l'expertise de nombreux laboratoires français impliqués dans le développement des instruments scientifiques de la mission, comme le LIRA (Laboratoire d'instrumentation et de recherche en astrophysique) - CNRS/Observatoire de Paris pour l'instrument MIRS.



Les laboratoires français :

Le **Laboratoire d'Instrumentation et de Recherche en Astrophysique (LIRA)** est maître d'œuvre de l'instrument **MIRS** avec la participation de laboratoires partenaires : le **Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux (LAB)**, le **Laboratoire Atmosphère, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS)**, l'**Observatoire Midi-Pyrénées (OMP)**, le **Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (LAM)**, l'**Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie – Toulouse (IRAP)**.

L'**Observatoire de la Côte d'Azur (OCA)**, le **LAM** et l'**ISAE-Supaéro** participent également à l'exploitation scientifique d'**Idefix®**.

