

Février 2021

## MISSION MARS 2020

Atterrissage du rover Perseverance le 18 février 2021



# SOMMAIRE

## Les grandes dates

## Les chiffres clés

## La science de Mars

- Recherche de traces de vie
- Le rover Curiosity

## Le rover Perseverance

- Le cratère Jézéro
- Objectifs de la mission
- Caractéristiques de Perseverance
- Un drone sur Mars
- Sept instruments à bord de Perseverance

## L'instrument SuperCam

- Un laser grande portée
- Objectifs scientifiques de SuperCam
- Cinq fonctionnalités de SuperCam
- Les cibles de calibration
- Les défis de SuperCam
- Éléments financiers

## La France sur Mars

- Construction, livraison et caractéristiques de l'instrument
- Opérations à la surface de Mars
- Expertise scientifique
- Partenariats industriels majeurs pour la livraison de matériels scientifiques

## Contacts presse



# LES GRANDES DATES

<b>Juillet 2013</b>	Proposition par une <i>Science Definition Team</i> de la NASA d'objectifs scientifiques et de priorités pour une nouvelle mission robotique d'exploration de Mars en 2020.
<b>24 septembre 2013</b>	Lancement de l'appel d'offres international de la NASA pour les instruments embarqués sur le rover.
<b>15 février 2014</b>	Réponses à l'appel d'offres : cinq propositions avec une contribution française présentées sur 58 réponses.
<b>31 juillet 2014</b>	Annnonce par la NASA de la sélection des propositions : SuperCam retenue. Démarrage du projet Mars 2020 au JPL ( <i>Jet Propulsion Laboratory</i> ) et des activités SuperCam en France et aux Etats-Unis (LANL, <i>Los Alamos National Laboratory</i> )
<b>16 juin 2015</b>	Accord de coopération entre le CNES et la NASA au 51 <sup>ème</sup> Salon International de l'Aéronautique et de l'Espace.
<b>Décembre 2016</b>	Succès de la CDR ( <i>Critical Design Review</i> ) SuperCam au LANL : donne le départ de la fabrication du modèle de vol.
<b>16-18 octobre 2018</b>	Annnonce de la sélection du site d'atterrissage : le cratère Jézéro.
<b>12 juin 2019</b>	Livraison du modèle de vol SuperCam : le <i>Mast Unit</i> (France) et le <i>Body Unit</i> (USA) au JPL.
<b>Juin 2019-Juin 2020</b>	Campagne d'intégration au JPL puis au <i>Kennedy Space Center</i> : tests et intégration de SuperCam sur le rover, intégration du rover dans l'étage de descente de la sonde, mise en place lanceur.
<b>30 juillet 2020</b>	Lancement par un Atlas V depuis le <i>Kennedy Space Center</i> à Cap Canaveral en Floride (fin de la fenêtre de tir le 11 août).
<b>18 Février 2021</b>	Arrivée de la mission Mars 2020 et atterrissage du rover sur Mars.
<b>Février-mai 2021</b>	Recette de Perseverance à la surface de Mars depuis le JPL et de SuperCam depuis le LANL et depuis le <i>French Operation Center for Science and Exploration</i> (FOCSE) situé au CNES
<b>Mai 2021 -2024</b>	Phase d'exploitation standard de SuperCam en alternance depuis le FOCSE et depuis le LANL



## LES CHIFFRES CLES

### SuperCam

SuperCam embarque **5 techniques** pour l'analyse des roches, des sols et de l'atmosphère de Mars :

- La spectroscopie LIBS pour la composition élémentaire ;
- La spectroscopie Raman pour la minéralogie ;
- La spectroscopie de réflectance infrarouge pour la minéralogie ;
- Un imageur couleur pour la texture et la morphologie des roches ;
- Un microphone pour enregistrer les impacts du laser LIBS, divers phénomènes atmosphériques et les bruits du rover.

Les techniques LIBS et Raman opèrent à distance, jusqu'à **7 m** du rover. Cela évite de s'approcher, un gain de temps pour les opérations. Les techniques « passives », imagerie et spectroscopie infrarouge, observent jusqu'à l'horizon ou seulement quelques km selon la transparence atmosphérique.

SuperCam produit **3 faisceaux lasers** : un laser de puissance impulsif infrarouge (1064 nm), qui peut aussi émettre dans le vert (532 nm), et un laser continu à 852 nm.

La durée des impulsions infrarouges (pour le LIBS) et vertes (pour le Raman) est de **5 ns** soit 5 milliardièmes de secondes. A la vitesse de la lumière (300 000 km/sec) ces impulsions font tout de même 1,5 m de long.

Une densité de puissance de **1 GW/cm<sup>2</sup>** est obtenue lors de la concentration sur 1 cm<sup>2</sup> du laser LIBS. C'est la puissance d'une centrale nucléaire... durant seulement 5 milliardièmes de secondes !

Lorsque le laser vert éclaire une roche, elle renvoie la lumière, dont **1 photon sur 1 000 000** a changé de longueur d'onde. C'est l'effet Raman. Ce décalage en longueur d'onde porte la signature minéralogique que SuperCam essaie de détecter.

Le niveau sonore sur Mars est atténué de **20 dB** par rapport à une même situation sur Terre, parce que l'atmosphère martienne transmet très mal les sons. C'est comme se parler à travers une cloison en plâtre de 1 cm d'épaisseur. Ainsi une conversation entendue à 100 m sur Terre, ne sera perceptible qu'à 10 m sur Mars.

Afin de renseigner très précisément le contexte géologique des roches analysées, la résolution de l'imageur est de **80 µrad**. C'est assez pour distinguer un vélo à 10 km !

Le laser de puissance de SuperCam a besoin de fort courants, **150 A** pour activer ses lasers de puissance. Le spectromètre infrarouge a une spécification de bruit de **0,1 x 10<sup>-12</sup> A**, soit ~15 ordres de grandeurs plus faibles.

Plusieurs sous-systèmes de SuperCam ont besoin de hautes tensions supérieures à **1 kV** (1000 V) pour fonctionner, comme le laser de puissance ou l'intensificateur de lumière pour l'analyse spectrale des signaux faibles.

Pour détecter les signaux Raman si faibles, pour 1 photon qui rentre dans le spectromètre, **~30 000** photons sont générés dans un amplificateur, dont la technologie est dérivée des lunettes de vision nocturnes.

SuperCam est avant tout un instrument d'optique qui embarque **plus de 60 pièces optiques (lentilles, miroirs, réseaux)** pour rediriger, disperser et collecter les photons entre l'UV (240 nm) et l'infrarouge proche (2.6 µm).

**14 laboratoires, plus de 25 partenaires industriels et plus de 300 personnes** ont construit, étalonné, et participent à l'analyse des données de SuperCam en France, auxquels il faut rajouter au moins 200 personnes aux Etats-Unis, et plusieurs en Espagne.

### Mars 2020 - Perseverance

**3 m x 2,7 m x 2,2 m** sont les dimensions caractéristiques de Perseverance. C'est à peu près la taille d'un SUV. SuperCam est au point le plus haut pour pouvoir faire ses analyses à distance.

Moins de **7%** de la masse du rover (1 050 kg) constitue la « charge utile » de Perseverance, à savoir les sept instruments scientifiques et le drone Ingenuity. SuperCam est le plus lourd des instruments scientifiques.

Le lancement a eu lieu le 30 juillet 2020, soit **17 jours** après l'ouverture de la fenêtre de tir, le 13 juillet. Le projet a démarré en 2014, SuperCam fut livré en juin 2019, intégré immédiatement sur le rover pour une année de tests au JPL et à Cap Canaveral.

<p><b>O<sub>2</sub></b> : Perseverance embarque MOXIE un instrument de fabrication d'oxygène à partir du gaz carbonique de l'atmosphère. Le micro de SuperCam écouter le bon fonctionnement des pompes de cet instrument qui prépare l'arrivée des humains sur Mars.</p>
<p><b>471 000 000 km</b> : le chemin parcouru entre le décollage le 30 juillet 2020 et l'atterrissage le 18 février 2021 : ~1300 fois la distance Terre-Lune, ~3 fois la distance Terre-Soleil. SuperCam a été qualifié au vide en prévision de ce voyage.</p>
<p>Le coût de la mission MARS 2020 est de <b>2,44 milliards de \$</b> pour ce projet « étandard » de la NASA.</p>
<p><b>668 sols</b>, c'est-à-dire 668 jours martiens ou 687 jours terrestres (1 jour martien = 24h et 40 min) : la durée de l'année martienne. La mission nominale de Perseverance est de 1.5 années martiennes. SuperCam a été qualifié pour cette durée.</p>
<p>Le site d'atterrissage s'appelle le cratère Jézéro. Il fait <b>45 km</b> de diamètre. Il est âgé de 3,5 milliards d'années et il a peut-être préservé des traces d'une forme de vie. Les techniques spectroscopiques de SuperCam sont optimisées pour décrypter la géologie de Jézéro.</p>
<p>La sonde arrive à 21 000 km/h et doit en <b>7 min</b> ralentir pour se poser tout en douceur. La température du bouclier thermique atteint 1 300°C. Le diamètre du parachute est de 21,5 m. Tout est extrême, on parle de 7 minutes de terreur. SuperCam a été testé pour supporter les chocs subis qui durant cette période.</p>
<p><b>Mars</b></p>
<p>La température moyenne à la surface de Mars est de <b>-67°C</b>. Elle peut monter en journée jusqu' à +30 °C. Au plus froid, il fait aux pôles -135 °C. L'instrument SuperCam est réchauffé pour être maintenu en permanence au-dessus de -40°C.</p>
<p><b>6 mb</b>, c'est la pression atmosphérique sur Mars. C'est très peu, moins de 1% de la pression sur Terre. C'est en partie pour cela que les sons ne portent pas loin sur Mars.</p>



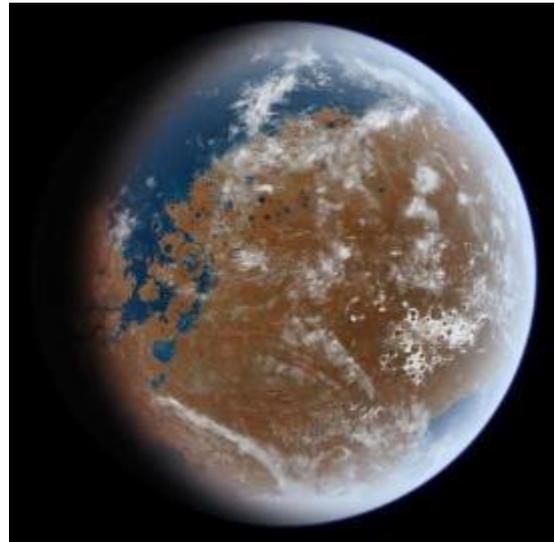
# LA SCIENCE DE MARS

L'étude de la planète Mars est un objectif essentiel de l'exploration spatiale. Cette étude renvoie à nos origines !

## RECHERCHE DE TRACES DE VIE

Il y a des milliards d'années, la Terre et Mars étaient beaucoup plus semblables qu'aujourd'hui : une atmosphère dense, de l'eau liquide, un champ magnétique à grande échelle. Les exobiologistes s'interrogent : « Si la vie s'est développée sur Terre à cette époque, une forme de vie aurait-elle pu se développer également sur Mars ? ».

Plus de 45 sondes ont été envoyées depuis le début de l'ère spatiale, par la NASA, l'ESA, ROSKOSMOS (Russie) et l'ISRO (Inde) pour essayer de répondre à cette question d'astrobiologie. Les scientifiques étudient les roches, les sédiments ainsi que les paysages martiens. Ils veulent comprendre quand et pourquoi l'eau liquide a disparu, quand et pourquoi l'atmosphère s'est dissipée, et, enfin ce qui se passait à la surface de Mars quand elle était « habitable ».



## LE ROVER CURIOSITY

Curiosity est le rover le plus performant de la NASA à l'œuvre sur Mars depuis août 2012. Il est toujours opérationnel et a déjà parcouru plus de 24 kilomètres dans le cratère Gale. Plus de 1000 articles scientifiques dans des revues à comité de lecture font référence à cette mission.

ChemCam et SAM sont les deux premiers instruments avec une forte contribution française, à la surface de Mars. Depuis 2012, ChemCam a activé son laser plus de 855 000 fois. Plus de 250 articles scientifiques font référence aux données ChemCam. Une semaine sur deux, ChemCam est opéré quotidiennement à partir du *French Instrument Mars Operation Centre* (FIMOC) au CNES. L'alternance hebdomadaire se fait avec le LANL au Nouveau Mexique.

ChemCam, SAM et l'ensemble de la charge utile de Curiosity ont découvert que Mars était une planète habitable dans un passé lointain, il y a vraisemblablement plus de 3,5 milliards d'années. Les conditions physico-chimiques pour que la vie se développe, à savoir de l'eau liquide, de la chimie organique à base de C-H-N-O-P-S et des réserves d'énergie étaient réunies en même temps sur la planète rouge. C'est un des résultats les plus marquants de la planétologie moderne et de l'exploration de Mars.

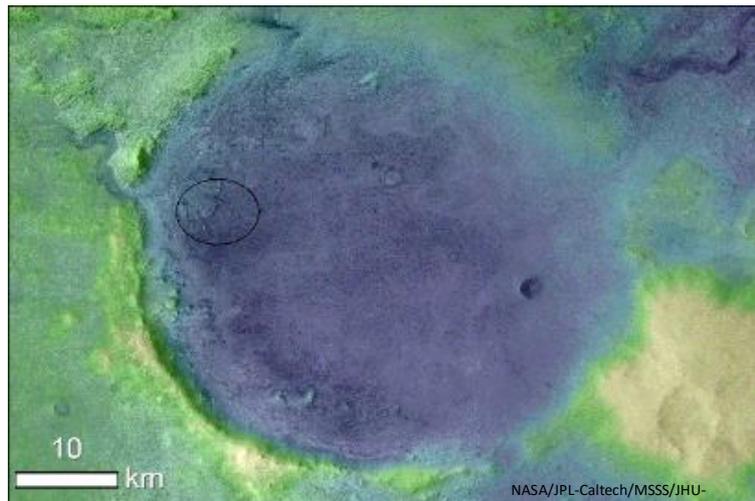
# LE ROVER PERSEVERANCE

Mars 2020 est la nouvelle mission étendard de la NASA. Elle a pour objectif de déposer sur la planète Mars le rover Perseverance, qui reprend l'architecture du rover Curiosity de la mission MSL (*Mars Science Laboratory*), qui a atterri avec succès en août 2012 et qui depuis explore le cratère Gale.

## LE CRATERE JEZERO

Le 18 février 2021, Perseverance se posera dans le cratère Jézéro (signifie « lac » dans plusieurs langues slaves), un bassin d'impact géant situé à l'ouest d'Isidis Planitia, à 18° de latitude Nord.

Ce cratère fait 45 kilomètres de diamètre. Il abrite un ancien delta de rivière qui débouchait, il y a 3,5 milliards d'années, dans un lac. L'ancien système lac-delta du cratère Jézéro offre la possibilité de récolter des échantillons provenant de roches et de minéraux très variés ; en particulier des carbonates. Ces minéraux, sur Terre, peuvent préserver des traces fossiles de la vie ancienne.



## L'ATERRISSAGE



L'atterrissage sur Mars de Perseverance comporte 5 phases distinctes :

- La phase d'approche
- La rentrée atmosphérique pilotée
- La descente sous parachute
- La descente propulsée
- La dépose par l'étage de descente (*Sky Crane*)

Dix minutes avant son entrée atmosphérique, la sonde spatiale se sépare de l'étage de croisière. Cinq minutes plus tard, elle ajuste son angle d'attaque en larguant deux lests de 75 kg chacun.

Elle pénètre ensuite l'atmosphère martienne à une vitesse de 21 000 km/h (5,8 km/s) et entame alors sa phase d'entrée atmosphérique pilotée qui fait tomber la vitesse à 1 510 km/h (420 m/s) tout en corrigeant les écarts par rapport à la trajectoire idéale. Tout au long de cette phase, Mars 2020 adapte son angle d'attaque à l'aide de quatre propulseurs situés sur le bouclier thermique arrière. La sonde corrige ainsi les variations locales de densité de l'atmosphère qu'elle traverse et maintient sa trajectoire vers le point d'atterrissage visé.

Environ 80 secondes après son entrée dans l'atmosphère, la surface externe du bouclier thermique atteint son pic de température à 1 300°C.

Le parachute, d'un diamètre de 21,5 mètres, est déployé environ 240 secondes après la rentrée atmosphérique, lorsque la sonde atteint approximativement 11 kilomètres d'altitude et alors que sa vitesse est encore de 1 510 km/h (420m/s).

20 secondes après le déploiement du parachute, le bouclier thermique est éjecté à une altitude de 2,1 km. 90 secondes plus tard, l'étage de descente se sépare du bouclier arrière, auquel le parachute est attaché.

C'est alors que la sonde entame sa phase de descente propulsée. Les huit moteurs de l'étage de descente se mettent en marche. L'étage de descente effectue une manœuvre d'éloignement et la vitesse de la sonde décroît, entre 2 100 m et 20 m d'altitude, de 680 km/h (190 m/s) à 6 km/h (1,7 m/s).



Au cours de cette phase, la sonde entame aussi sa navigation autonome assistée par l'imagerie de terrain (*Terrain-Relative Navigation*). Une caméra pointant vers le sol, capture en continu les images et les envoie à l'ordinateur de bord. Il détermine rapidement la position de la sonde par rapport à la surface de Mars, détecte les obstacles ou les accidents de terrain et sélectionne l'endroit le plus sûr où atterrir. Ce système peut ajuster de 600 mètres le point d'atterrissage du rover.

À 20 mètres au-dessus du point d'atterrissage, 12 secondes avant le toucher, le rover déploie ses roues, les verrouille pendant que les trois câbles longs de 6,40 mètres se déroulent, le laissant suspendu sous l'étage de descente. Dès que le rover détecte le contact avec le sol, les câbles sont très rapidement coupés, libérant l'étage de descente qui allégé, s'éloigne du point d'atterrissage avant de tomber au sol. Le rover touche le sol avec une vitesse verticale de 2,7 km/h (0,75 m/s).

### Une précision inégalée

Le système d'atterrissage de Mars 2020 est largement inspiré de celui de la mission MSL, qui s'est posée avec succès dans le cratère Gale en août 2012. Mais pour préparer les futures missions, Perseverance embarque avec elle de nouvelles technologies destinées à améliorer la précision de l'atterrissage.

- Le « *Range Trigger* » est une nouvelle technique utilisée par Mars 2020 pour déclencher le déploiement du parachute. Contrairement à MSL/Curiosity, le déclenchement de l'ouverture du parachute ne sera pas conditionné par la vitesse de la sonde mais par sa distance mesurée par rapport au point d'atterrissage visé. Cette nouvelle technique réduit significativement la taille de l'ellipse d'atterrissage dont la longueur du grand axe passe de 25 km pour MSL à 7,7 km pour Mars 2020.
- La navigation autonome par imagerie de terrain (*Terrain-Relative Navigation*) est un système de pilotage qui sélectionne en temps réel l'endroit le plus sûr où atterrir. Des caméras pointant vers le sol capturent en continue les images et les envoient à l'ordinateur de bord qui détecte si le site d'atterrissage prévu comporte des blocs de rochers trop gros ou des pentes trop importantes. Ce système peut ajuster le point d'atterrissage du rover jusqu'à 600 mètres. La probabilité d'atterrissage réussi passe alors à 99% contre 80 à 85% sans cette technique.

Ainsi, l'ellipse de l'atterrissage de Perseverance mesure 7,7 km x 7,6 km (environ 40 km<sup>2</sup>), soit un peu moins de la moitié de la surface de Paris intra-muros. En comparaison, celle de MSL Curiosity était de 25 km x 20 km (soit 393 km<sup>2</sup>), soit presque 4 fois la surface de la même ville.

## OBJECTIFS DE LA MISSION

- ▼ Explorer des environnements anciens de la planète Mars afin de déchiffrer son histoire géologique et mieux caractériser son habitabilité passée ;
- ▼ Rechercher des traces de vie ancienne en détectant des biosignatures éventuelles sur les sites géologiques sélectionnés ;
- ▼ Préparer l'exploration humaine de Mars : en testant des technologies, précisant les conditions qui règnent à la surface de Mars : niveau de rayonnement, variation de température, diffusion des poussières, ... et en améliorant la connaissance des conditions de rentrée atmosphérique.

Perseverance est conçu pour collecter des échantillons qui seront récupérés et rapportés sur Terre grâce aux missions conjointes des Etats-Unis et de l'Europe (MSR, *Mars Sample Return*) prévues pour un lancement en 2026. Les capacités d'analyses scientifiques des laboratoires terrestres sont bien plus puissantes que celles de ceux envoyés sur Mars. Elles ne cessent de s'améliorer avec le temps. Ces échantillons martiens profiteront donc à plusieurs générations de scientifiques, comme ce fut le cas pour les échantillons lunaires.



## CARACTERISTIQUES DE PERSEVERANCE

Perseverance reprend l'essentiel de l'architecture du rover Curiosity. Il fait 3 mètres de long, 2,7 mètres de large, 2,2 mètres de hauteur, et pèse 1 050 kilogrammes.

Perseverance diffère cependant de Curiosity car il emporte un système de prélèvement et de conditionnement d'échantillons ainsi que de nouveaux instruments, au nombre de sept. Divers sous-systèmes ont aussi subi des transformations ; les roues, par exemple, ont été rendues beaucoup plus résistantes.

Le corps du véhicule héberge les calculateurs et les éléments électroniques. Ils sont maintenus à une température constante. La partie supérieure reçoit le mât qui, une fois déployé, peut prendre des images durant les déplacements et porte la partie extérieure de SuperCam. Le bras robotique, fixé sur la face avant, porte des instruments d'observation, d'analyse, de forage et de conditionnement des prélèvements.

Dans ce rover, les deux ordinateurs de bord sont identiques et capables de se suppléer l'un, l'autre. Ils communiquent avec les éléments fonctionnels du véhicule (moteurs, systèmes de communication...) à travers deux réseaux redondants conçus selon les standards de fiabilité de l'aviation. Les ordinateurs envoient les instructions aux instruments, en récupèrent et stockent les données avant de les envoyer vers la Terre.

## UN DRONE SUR MARS



En mai 2018, la NASA a annoncé que Perseverance embarquera un petit hélicoptère expérimental MHS (*Mars Helicopter Scout*) pesant 1,8 kilogramme. Baptisé *Ingenuity*, il testera l'intérêt du recours à des vols de reconnaissance optique. L'expérimentation doit durer une trentaine de jours. Il se déplace dans les airs grâce à deux rotors bipales tournant en sens contraires. La vitesse de rotation est comprise entre 2 400 et 2 900 tours par minute soit 10 fois celle des pales d'un hélicoptère sur Terre. En effet,

l'atmosphère martienne étant très ténue, l'air y est peu dense et nécessite donc une vitesse de rotation plus importante pour que l'appareil se soulève du sol.

## SEPT INSTRUMENTS A BORD DE PERSEVERANCE

La charge utile de Perseverance comporte sept instruments, un drone ainsi qu'un système de prélèvement et de conditionnement d'échantillons.

**SuperCam**, instrument franco-américain, est une version améliorée de ChemCam. Il emporte cinq techniques d'observation et d'analyse. Il utilise des lasers et un ensemble de spectromètres pour déterminer à distance la composition chimique et minéralogique des roches.

**Mastcam-Z**, instrument américain, est un ensemble de caméras constituant une évolution de l'ensemble Mastcam, embarqué sur Curiosity. La principale amélioration tient dans l'ajout d'un zoom. Des images dans des bandes spectrales étroites en lumière visible et proches infrarouge peuvent également être obtenues.

**RIMFAX (Radar Imager for Mars Subsurface Exploration)** est développé par un institut de recherche norvégien. Il sonde les couches géologiques enfouies jusqu'à une profondeur de dix mètres. Il complète ainsi les analyses effectuées par SuperCam.

**PIXL (Planetary Instrument for X-ray Lithochemistry)**, instrument américain, est un spectromètre de fluorescence à rayons X qui fournit des images à haute résolution pour déterminer la composition chimique des roches et des grains à la surface de Mars, jusqu'à une échelle microscopique.

**SHERLOC (Scanning Habitable Environments with Raman & Luminescence for Organics and Chemicals)**, instrument américain, est un spectromètre utilisant un laser ultraviolet pour déterminer la composition moléculaire et détecter la présence de matière organique, à l'échelle microscopique.

**MEDA (Mars Environmental Dynamics Analyzer)** est une station météorologique développée par l'équipe espagnole ayant fourni un instrument semblable pour la mission Curiosity.

**MOXIE (Mars Oxygen In-situ resource utilisation Experiment)**, équipement américain, est un démonstrateur. Il doit démontrer la possibilité de produire de l'oxygène à partir du dioxyde de carbone, composant majeur (96 %) de l'atmosphère martienne.

### Représentation de l'aménagement des instruments au sein du Perseverance



## MARS 2020, PREMIER SEGMENT DU PROGRAMME INTERNATIONAL DE RETOUR D'ÉCHANTILLONS

La mission Mars 2020 de la NASA est le premier segment du programme de retour d'échantillons qui sont attendus par la communauté scientifique depuis deux décennies :

- ▼ Étape 1 : Perseverance explore le cratère Jézéro, analyse l'environnement géologique, collecte des échantillons (au minimum 20 avec un objectif d'environ 35), les conditionne dans des tubes étanches qu'il dépose en petits tas à la surface de Mars.
- ▼ Étape 2 : une mission américaine pose une plateforme qui porte un petit rover européen, le *Sample Fetch Rover* (SFR), une petite fusée, le *Mars Ascent Vehicle* (MAV) et un bras robotique. Le SFR part à la recherche des tubes d'échantillons et les rapporte vers la plateforme. Le bras robotique les installe dans un conteneur placé au sommet du MAV, qui insère ce conteneur en orbite autour de Mars.
- ▼ Étape 3 : un satellite lancé par l'Europe, *Earth Return Orbiter* (ERO), déjà placé en orbite martienne, capture le conteneur d'échantillons et le rapporte vers la Terre.

Ce programme ambitieux est piloté par la NASA avec une contribution très importante de l'ESA. Le calendrier des étapes 2 et 3 n'est pas entièrement déterminé mais les activités de conception ont commencé. L'arrivée d'échantillons de Mars sur Terre est attendue au début des années 2030.

# L'INSTRUMENT SUPERCAM

## UN LASER GRANDE PORTEE

Perseverance a un œil perçant, l'instrument SuperCam qui a été construit tout spécialement par la France pour étudier la géologie de Mars. L'instrument aidera les scientifiques dans leur recherche de signes précurseurs ou fossilisés de vie microbienne ancienne sur la planète rouge. Le laser de puissance infrarouge de SuperCam vaporise à distance de très petites quantités de roche (formant un plasma) qui émettent alors une étincelle dont la lumière est analysée. L'instrument fournit ainsi des informations essentielles sur la composition élémentaire des roches martiennes. La technique s'appelle LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*). C'est la même technique qui est utilisée par ChemCam, dont le laser a déjà effectué sur Mars plus de 855 000 tirs depuis l'atterrissage de Curiosity en août 2012.

Le montage optique de SuperCam est cependant plus performant que celui de ChemCam car il peut diviser la longueur d'onde par deux et émettre une lumière dans le vert. Celle-ci fait vibrer à distance les molécules, sans les altérer, et elles réémettent des photons. Un photon renvoyé sur 1 000 000 a une longueur d'onde légèrement différente de celle du laser. Cette modification de longueur d'onde constitue la signature Raman, du nom du découvreur de cette diffusion particulière. L'information sert à déterminer la structure des molécules et la façon dont elles sont organisées entre elles. SuperCam détecte la signature minéralogique et peut caractériser de la matière organique présente.

Grâce à ce laser à deux « modes » (infrarouge et vert), qui agit jusqu'à une distance de sept mètres, les scientifiques explorent la diversité chimique et minéralogique des sites traversés par le rover. Cette première évaluation identifie les cibles rocheuses les plus intéressantes. Celles-ci se sont en général formées en présence d'eau, comme les argiles, les carbonates et les sulfates. Les scientifiques utilisent ces informations pour le choix des endroits où des carottes de roche ou de sol seront prélevées avec le système de collecte d'échantillons du rover.

## OBJECTIFS SCIENTIFIQUES DE SUPERCAM



- ▼ Identifier les roches
- ▼ Caractériser la composition des structures sédimentaires
- ▼ Rechercher les matériaux organiques et de bio-signatures
- ▼ Rechercher les contenus volatiles
- ▼ Décrire le contexte géologique et la texture des roches
- ▼ Analyser les revêtements de surface
- ▼ Caractériser les régolites
- ▼ Caractériser l'atmosphère

## CINQ FONCTIONNALITES DE SUPERCAM

SuperCam est le « couteau suisse » de Perseverance. Il réunit cinq techniques de mesures différentes en un seul instrument.

**Spectromètre LIBS** : le tir d'un faisceau laser (infrarouge) provoque la formation d'un plasma. L'analyse de la lumière qu'il émet par trois spectromètres (de l'ultraviolet au proche infrarouge) donnera la composition élémentaire des roches. Il a une portée de sept mètres. Le LIBS peut aussi être utilisé pour dépoussiérer les surfaces rocheuses afin de faciliter les analyses infrarouges et Raman. Cette technique est déjà utilisée avec *ChemCam*.

*Pour en savoir plus : les éléments détectés sont :*

- ▼ Les éléments majeurs : O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe
- ▼ Les éléments mineurs et traces : S, P, H, N, Ti, Cr, Ni, Cu, Zn, Rb, As, Cd, Pb, F, Cl, Li, Sr, Ba, M.

**Spectromètre Raman / Fluorescence** : après illumination, en lumière verte, par le faisceau laser, il établit les spectres Raman et de fluorescence jusqu'à une distance de sept mètres du rover. Cette analyse détectera les particules organiques et identifiera précisément les minéraux des roches. Ce sera le premier Raman impulsif à la surface de Mars.

*Pour en savoir plus : mêmes détectons minérales que IR mais avec de subtiles différences, en particulier une meilleure sensibilité aux molécules organiques et une zone analysée beaucoup plus petite.*

**Spectrométrie de réflectance visible et infrarouge** : SuperCam analyse la lumière du Soleil qui est réfléchiée par les roches dans les domaines du visible, de l'infrarouge et du proche infrarouge. Cette technique peut porter selon différentes modalités jusqu'à l'horizon. Elle a déjà été utilisée depuis l'orbite, ce sera une première à la surface de Mars.

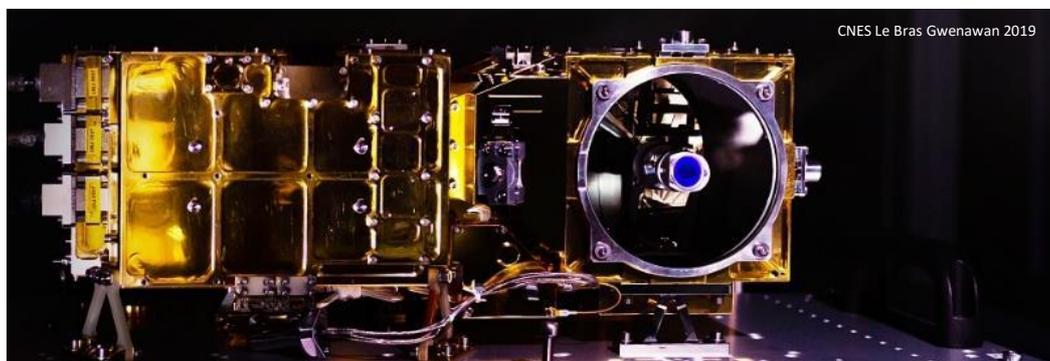
*Pour en savoir plus : les minéraux détectés sont divers silicates (pyroxènes, olivine, serpentines, smectite, talc, kaolinite, zeolites), des sulfates (mono et poly-hydratés), des carbonates, des composés d'intérêt astrobiologique (borates, nitrates et phosphates), des molécules d'eau (adsorbées, interstitielles, glaces) et des sels hydratés.*

**Micro-imageur couleur RMI** : SuperCam prend des images à haute résolution jusqu'à l'infini. Elles seront utilisées pour comprendre le contexte géologique qui aide à l'interprétation des analyses biochimiques et minérales. Cette fonction existe déjà sur ChemCam, mais les images seront en couleur. Un laser continu est utilisé pour la mise au point de la caméra

*Pour en savoir plus : imagerie couleur de petit champ (ex. environ dix centimètres à cinq mètres) et très résolue (détails d'environ 1/2 millimètre à cinq mètres).*

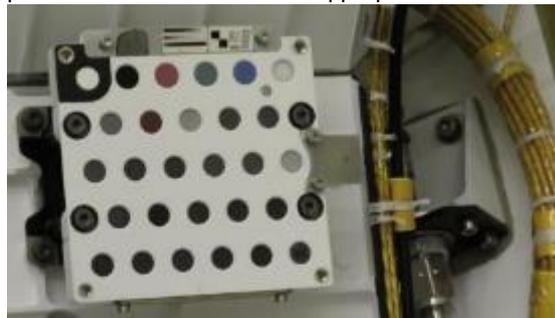
**Microphone** : SuperCam enregistre le son engendré par l'impact laser du LIBS sur la roche jusqu'à quatre mètres. La formation du plasma s'accompagne d'un claquement dont l'enregistrement donnera des informations complémentaires sur les propriétés mécaniques des roches. Il étudiera aussi le bruit du vent et donnera des indications complémentaires sur la météorologie de la planète rouge.

*Pour en savoir plus : microphone dans la bande 100 Hz – 10 kHz.*



## LES CIBLES DE CALIBRATION

SuperCam emporte 36 pastilles de matériaux dont la composition est parfaitement connue pour l'étalonnage des cinq techniques d'analyse. Elles sont montées à l'arrière du rover et seront « visées » régulièrement par SuperCam. Le porte-échantillon a été développé par l'université de Valladolid (Espagne) et les cibles ont été fabriquées en France.



De plus un morceau de météorite martienne est aussi fixé sur le porte cible (en haut à gauche). Ce petit morceau de Mars, éjecté lors d'un impact de forte puissance, a voyagé autour du Soleil avant de tomber sur Terre. Il a été découvert dans un désert et identifié comme provenant de Mars par le Museum National d'Histoire Naturelle de Paris. Cette météorite a aussi eu l'occasion de faire maintes fois le tour de la Terre dans les bagages de Thomas Pesquet lors de la mission Proxima à bord de l'ISS. Cette pierre repart maintenant d'où elle vient, un « retour d'échantillon » en quelque sorte !

## LES DEFIS DE SUPERCAM

La contribution française à SuperCam est un concentré de technologies délicates contenues dans une masse très limitée (six kilogrammes) :

- ▼ Un laser de puissance, deux faisceaux (infrarouge et vert)
- ▼ Un laser continu
- ▼ Plus de 30 pièces optiques (lentilles et miroirs)
- ▼ Une gamme spectrale allant de l'ultraviolet à l'infrarouge
- ▼ Deux sources haute tension à commutation rapide
- ▼ Une ligne à fort courant
- ▼ Des signaux radiofréquence
- ▼ Des systèmes de refroidissement et de réchauffage
- ▼ Des nouvelles technologies : détecteurs CMOS (comme dans les smartphones), cristaux vibrants, détecteurs infrarouge

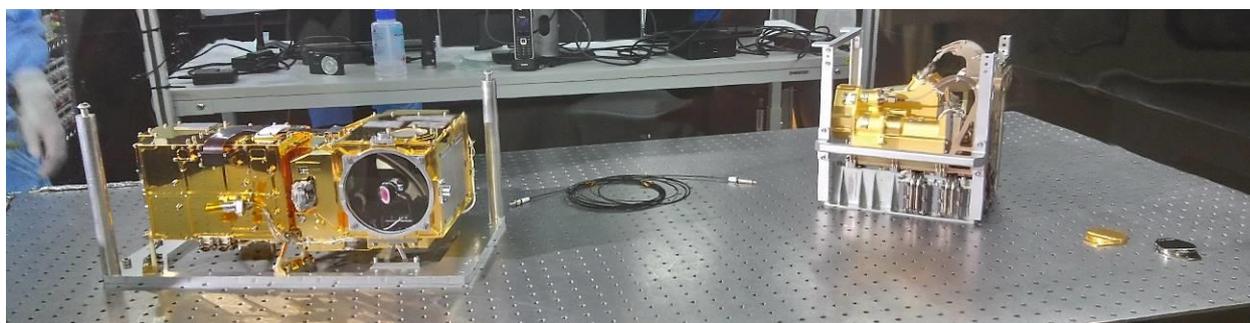
Les premières de SuperCam :

- ▼ Premier Raman impulsif
- ▼ Premières mesures de réflectance infrarouge à la surface de Mars (mesures courantes depuis l'orbite)
- ▼ Premier microphone scientifique sur Mars

## ELEMENTS FINANCIERS

Le coût total de la mission Mars 2020 s'élève à 2,44 milliards de dollars. Ce montant comprend aussi le service de lancement, 576 millions de dollars, et le déroulement des opérations sur trois ans à la surface de Mars, 456 millions de dollars.

Pour la France, SuperCam aura coûté environ 40 millions d'euros, de la conception à l'exploitation à venir des données. Ces dépenses correspondent pour moitié en fournitures acquises auprès de l'industrie et pour moitié en travail des agents du CNRS, du CNES et des autres institutions parties prenantes.



## CONSTRUCTION, LIVRAISON ET CARACTERISATION DE L'INSTRUMENT

SuperCam a été construit dans le cadre d'une collaboration scientifique entre le LANL et l'IRAP selon les mêmes modalités que ChemCam. L'instrument est constitué du *Mast-Unit*, fourni par la France, du *Body-Unit*, fourni par les Etats-Unis. Une nappe de six mètres de long, avec l'alimentation électrique, le transfert de données et la fibre optique, qui relie les deux parties de SuperCam est fournie par le JPL.

Le CNES assure la maîtrise d'ouvrage de la contribution française à SuperCam. Il s'appuie sur des laboratoires du CNRS et de ses partenaires ainsi que de l'ISAE-Supareo pour le développement du *Mast-Unit*, la partie active de

l'instrument placée au sommet du mât du rover et la fourniture des cibles de calibration. Il fournit également, en tant que besoin, du support en expertises et en moyens d'essais et de mesures.

#### **IRAP (CNRS/CNES/Université Toulouse III Paul Sabatier), Toulouse**

- ▼ Co-conception avec le LANL de l'instrument qui comprend le *Mast-Unit* et le *Body-Unit* ;
- ▼ Responsable de l'architecture et du développement du *Mast-Unit* ;
- ▼ Architectures optique et électrique ;
- ▼ Activités d'intégration et de tests ;
- ▼ Fournitures électroniques (cartes LVPS, laser, *front-end*) ;
- ▼ Fabrication et caractérisation des cibles de calibration ;
- ▼ Préparation du retour scientifique (performances, chaîne de traitement, opérations) ;
- ▼ Gestion des crédits labos.

#### **CNES**

- ▼ Responsable vis-à-vis de la NASA de la contribution française à Mars 2020 ;
- ▼ Fourniture de sous-systèmes : laser de puissance, imageur couleur, table de focus ;
- ▼ Apport d'expertise technique, à la demande, aux laboratoires ;
- ▼ Mise à disposition et conduite de divers moyens de tests ;
- ▼ Conception et développement du centre de contrôle de l'instrument à partir de Toulouse FOCSE Mars 2020 ;
- ▼ Préparation et participation aux opérations de SuperCam.

#### **LESIA (Observatoire de Paris-PSL/CNRS/Sorbonne Université/Université de Paris), Meudon**

- ▼ Ingénierie système du *Mast-Unit* ;
- ▼ Cogestion de projet du *Mast-Unit* ;
- ▼ Responsable de l'architecture et du développement du spectromètre IR ;
- ▼ Conception, fabrication, intégration et tests du spectromètre IR ;
- ▼ Architecture thermique et calculs structure ;
- ▼ Tests thermiques équipements et *Mast-Unit*.

#### **LAB (CNRS/Université de Bordeaux), Bordeaux**

- ▼ Gestion de projet du *Mast-Unit* ;
- ▼ Développement du logiciel embarqué et tests ;
- ▼ Fournitures électroniques (carte DPU) ;
- ▼ Fabrications mécaniques des moyens sols.

#### **OMP (CNRS/IRD/Météo France/Université Toulouse III Paul Sabatier), Toulouse**

- ▼ Architecture mécanique ;
- ▼ Fabrications mécaniques.

#### **LATMOS (CNRS/Sorbonne Université/Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines), Guyancourt**

- ▼ Fournitures électroniques (cartes pour le spectromètre IR) ;
- ▼ Gestion des composants électroniques.

#### **ISAE-SUPAERO, Toulouse**

- ▼ Responsable de l'architecture et du développement du microphone ;
- ▼ Conception, fabrication, intégration et tests du microphone.



## OPERATIONS A LA SURFACE DE MARS

La France participe aux opérations scientifiques de la mission Mars 2020, en collaboration avec le Caltech/JPL qui opère l'ensemble du projet et le LANL. Les logiciels de préparation des commandes (télémétrie montante) et d'analyse des données (télémétrie descendante) pour SuperCam sont développés conjointement par le LANL, le CNES, et deux laboratoires de recherche, l'IRAP et le LESIA. Le CNES développe le centre des opérations scientifiques – FOCSE Mars2020 – en partenariat avec l'IRAP. Ce centre accueille l'équipe de scientifiques et d'ingénieurs français qui assure, en alternance avec le LANL et le support de partenaires européens, la planification et le suivi quotidien des activités SuperCam.

## EXPERTISE SCIENTIFIQUE

De nombreux laboratoires des communautés astronomie et sciences de la Terre contribuent pour le compte du CNRS, de ses partenaires et de l'ISAE-Supaero au développement de l'instrument SuperCam, à la préparation des opérations, et bientôt à l'analyse des données à la surface de Mars.

 <b>IMPMC</b>	Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie (CNRS/MNHN/Sorbonne Université), Paris ;
 <b>IPAG</b>	Institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble (CNRS/Université Grenoble Alpes), Grenoble ;
 <b>IRAP</b>	Institut de recherche en astrophysique et planétologie (CNRS/CNES/Université Toulouse III Paul Sabatier), Toulouse ;
 <b>LGL-TPE</b>	Laboratoire de géologie de Lyon : terre, planètes, environnement (CNRS/ENS de Lyon/ Université Claude Bernard Lyon 1), Lyon ;
 <b>LESIA</b>	Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (Observatoire de Paris-PSL/CNRS/Sorbonne Université/Université de Paris), Meudon ;
 <b>CELIA</b>	Centre lasers intenses et applications (CNRS/CEA/Université de Bordeaux), Bordeaux ;
 <b>LPG</b>	Laboratoire de planétologie et géodynamique (CNRS/Université de Nantes/Université d'Angers), Nantes ;
 <b>LATMOS</b>	Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (CNRS/Sorbonne Université/Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines), Guyancourt
 <b>GeoRessources</b>	GeoRessources (CNRS/Université de Lorraine), Nancy ;
 <b>LAB</b>	Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux (CNRS/Université de Bordeaux), Bordeaux ;
 <b>IAS</b>	Institut d'astrophysique spatiale (CNRS/Université Paris-Saclay), Orsay ;
 <b>ISAE-SUPAERO</b>	Institut supérieur en aéronautique et espace, Toulouse ;
 <b>ISTerre</b>	Institut des sciences de la Terre (CNRS/IRD/Université Savoie Mont-Blanc/ Université Grenoble Alpes), Grenoble ;
 <b>IMFT</b>	Institut de mécanique des fluides de Toulouse (CNRS/ Université Toulouse III Paul Sabatier/Toulouse INP), Toulouse.

Le CNES assure l'accompagnement budgétaire des activités scientifiques.

## PARTENARIATS INDUSTRIELS MAJEURS POUR LA LIVRAISON DE MATERIELS SPECIFIQUES (A l'exclusion de prestations et matériels commerciaux)

<b>Optiques</b>	Winlight System, Pertuis	Miroirs,
	Optoprim, Vanves	Lame de Schmidt
	Optosigma, Les Ulis	Dichroïques, lentilles
	Fichou, Fresnes	Miroirs, lentilles
	CILAS, Aubagne	Lame dichroïque
<b>Mécanique</b>	COMAT, Flourens	Fabrications mécaniques
	MecanoID, Toulouse	Modélisation, tests
	MAP coatings, Pamiers	Traitements de surface

## Electronique

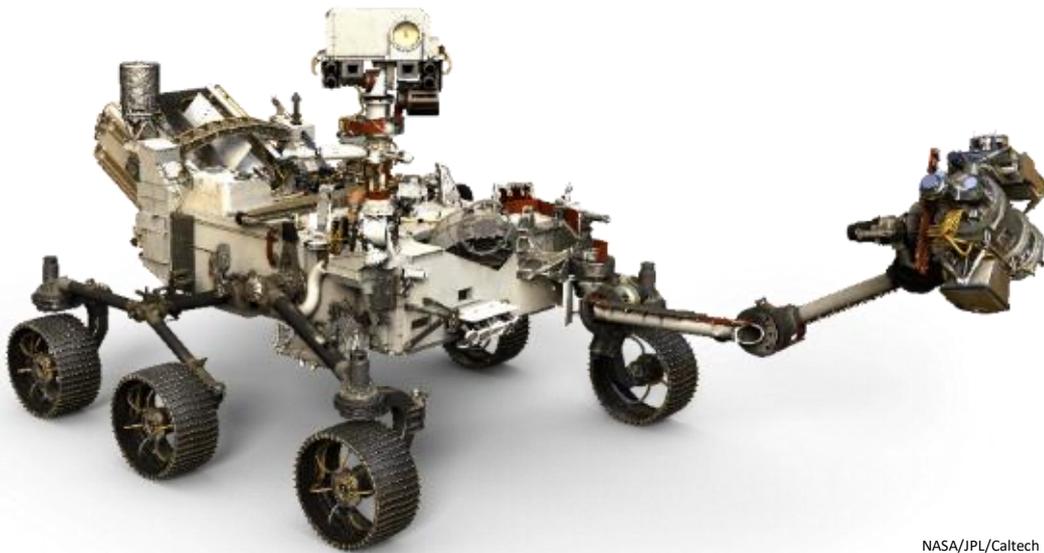
Steel, Martres Tolosane  
Microtec, Toulouse  
Hirex, Toulouse  
Matra Electronics  
AXON'Cable, Montmirail  
CIRETEC, Elvia, Saint-Ay  
Gerac, Toulouse  
RESA  
Adveotec

Cartes électroniques  
Moyens sols, câblage  
Approvisionnement des composants  
Électronique IR  
Harnais  
PCB  
Tests électromagnétiques  
Report de composants  
Tests optoélectroniques

## Systemes intégrés

Thalès  
3D+, Buc

Laser  
Imageur



NASA/JPL/Caltech

## CONTACTS PRESSE

---

**Pascale Bresson** — Attachée de presse  
Tél. 01 44 76 75 39 / [pascale.bresson@cnes.fr](mailto:pascale.bresson@cnes.fr)

**Raphaël Sart** — Responsable presse  
Tél. 01 44 76 74 51 / [raphael.sart@cnes.fr](mailto:raphael.sart@cnes.fr)

[presse.cnes.fr](http://presse.cnes.fr)

**Bureau de presse**  
Tél. 01 44 96 51 51 / [presse@cnes.fr](mailto:presse@cnes.fr)

[www.cnes.fr](http://www.cnes.fr)

