

# Les Savanturiers

n°2

En mission avec les scientifiques du CEA

## Sommaire :



### Un monde à découvrir

Le système solaire

Pages 2-3



### Des techniques embarquées

L'analyse spectrale

Pages 4-5



### Interviews

3 chercheurs racontent

Pages 6-7



### Jeu

Fan de la planète rouge ?

Page 8

## Édito :

S'il est une aventure qui fait rêver petits et grands, c'est bien l'aventure spatiale. Depuis Jules Verne, Georges Méliès, Youri Gagarine le premier homme dans l'espace, Neil Armstrong qui a marché le premier sur la Lune, la saga Star Wars... ont suscité bien des vocations. Lorsque l'occasion s'est présentée, des chercheurs du CEA se sont bien évidemment enthousiasmés pour relever le défi que leur offrait la NASA d'explorer Mars. Mais comment une équipe de chercheurs français, spécialisée dans le domaine du nucléaire, se retrouve-t-elle impliquée dans un tel projet extraterrestre ? C'est ce que ce nouveau numéro des Savanturiers va vous révéler.

## Objectif Mars : Curiosity part en mission

Le rover Curiosity vient d'arriver sur Mars. Sa mission : évaluer déterminer si des conditions favorables à la vie ont été un jour réunies sur la planète rouge, et si elles pourraient l'être de nouveau. Quelle est sa géologie ? Son climat ? Les moyens de la mission : les meilleures techniques embarquées, dont la Libs. Comment les chercheurs, restés à Terre, vont-ils pouvoir travailler ? Que va-t-on découvrir ?



Placé au sommet de la fusée Atlas V541, Curiosity s'élance vers Mars le 26 novembre 2011, pour s'y poser le 6 août 2012.

## Curiosity

- Longueur : 3 m
- Largeur : 2,7 m
- Hauteur : 2,2 m
- Masse : 899 kg
- 10 instruments scientifiques : 75 kg
- Durée de la mission : 1 année martienne, presque 2 années terrestres
- Distance à parcourir sur Mars : environ 20 km
- Vitesse maximale : 144 m/h ou 4 cm/s



© Nasa

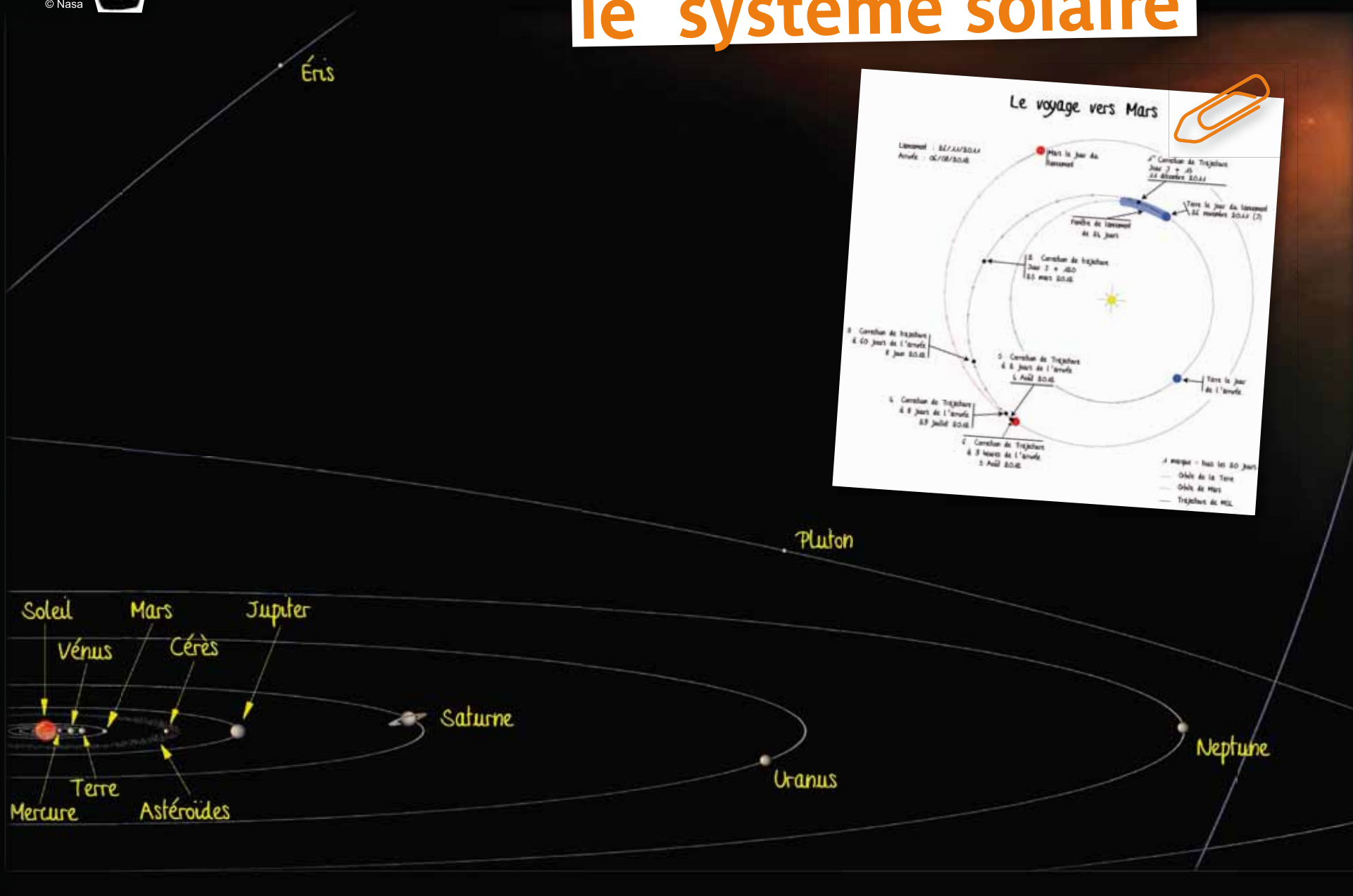
## La mission MSL

Le **rover** Curiosity, un laboratoire mobile semi-autonome, a été spécialement conçu pour la mission Mars Science Laboratory (MSL) pilotée par la **NASA** et impliquant plusieurs pays (Etats-Unis, Espagne, Finlande, France, Russie...). Parti de Cap Canaveral le 26 novembre 2011, il s'est posé le 6 août 2012 dans le Cratère Gale (d'un diamètre de 155,3 km). En hommage au célèbre écrivain, le site d'arrivée se nomme désormais « Bradbury\* ».

Ses quatre principaux objectifs sont :

- ★ découvrir des composés organiques ;
- ★ analyser les roches de façon à comprendre l'histoire de leur formation, révéler la présence passée d'eau et trouver d'anciennes traces de vie ;
- ★ trouver les traces anciennes de vie, étudier l'évolution de l'atmosphère et détecter l'eau ;
- ★ étudier les rayonnements cosmiques ou solaires afin de mesurer les dangers encourus par les astronautes sur Mars. Vénus, la Terre et Mars ont une origine commune. Les planétologues les étudient pour mieux connaître le passé de la Terre et les origines de la vie.

# Un monde à découvrir : le système solaire



## La Planète Mars

Malgré une masse dix fois plus petite, Mars est la planète qui ressemble le plus à la Terre. Avec une gravité trois fois plus faible, elle ne retient à sa surface qu'une atmosphère ténue composée à 95,3 % de CO<sub>2</sub>. La pression atmosphérique de Mars (160 fois plus faible que sur Terre) peut varier du simple au double. La température moyenne est de - 60 °C et connaît aussi d'importantes variations. La distance "moyenne" de Mars au Soleil, (228 millions de km) fait qu'elle reçoit 2 à 3 fois moins d'énergie en moyenne que la Terre, plus proche de lui (150 millions de km). Une journée martienne dure 40 mn. Un jour solaire martien dure 24 h 39 mn. Trois ères géologiques ont modelé la planète :

- ★ le Noachien (durée : 900 millions d'années), pendant lequel de l'eau liquide a pu exister, et où la plupart des cratères d'impact ont été formés ;
- ★ l'Hespérien (durée : 500 millions d'années) au cours duquel, le champ magnétique protecteur ayant disparu, le vent solaire a commencé à éroder l'atmosphère martienne ;
- ★ l'Amazonien (depuis 3,2 milliards d'années) où, progressivement, la planète a pris son aspect géologique et atmosphérique actuel. En l'absence de tectonique des plaques, quelques volcans gigantesques se sont développés (volcanisme de **point chaud**). Par exemple, Olympus Mons s'élève de 22 km au dessus des plaines qui l'entourent et occupe la même surface que la France ! Mars possède deux petits satellites : Phobos et Deimos.

## Lexique :

**Écliptique :** Plan défini par l'orbite terrestre.

**NASA :** National aeronautics and space administration américain (Agence spatiale américaine).

**Point chaud :** À la surface d'une planète, point où perce la matière depuis le manteau où la température est plus élevée.

**Rover :** Véhicule disposant d'une certaine autonomie conçu pour explorer la surface d'une autre planète.

**Sublimation :** Passage direct de l'état solide à l'état vapeur.

## Astronomie

### C'est quoi une planète ?

Tout ce qui gravite autour d'une étoile comme le Soleil n'est pas forcément une planète ! On trouve aussi des astéroïdes, des comètes et... des planètes naines.

Il faut plusieurs conditions pour pouvoir prétendre au glorieux titre de planète : être un corps massif gravitant autour d'une étoile, être assez gros pour avoir acquis une forme quasi sphérique sous l'effet de sa propre gravité, avoir vidé

son orbite de tout autre corps.

Notre Système solaire compte 8 planètes classées en deux groupes : les telluriques (Mercure, Vénus, la Terre et Mars) et les géantes gazeuses (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune). Leurs orbites sont toutes situées à proximité de l'**écliptique**.

Il existe cinq planètes naines, dont les trajectoires sont différemment orientées dans l'espace et qui n'ont pas nettoyé de leur orbite : Cérès, Pluton, Éris, Makemake et Hauméa.

### Astéroïdes et comètes

Les astéroïdes sont des corps rocheux dont la dimension principale ne dépasse pas 1 000 km. On en trouve beaucoup dans une zone située entre les orbites de Mars et de Jupiter.

Enfin, les comètes sont des corps essentiellement composés de glace qui peuvent avoir des orbites très allongées. Elles se **subliment** partiellement à chacun de leur passage au voisinage du Soleil.

### En savoir +

• Un livret, des salières, une toise et une maquette « le système solaire interne » à [http://www.cea.fr/jeunes/c\\_est\\_quoi\\_l\\_astrophysique\\_ou\\_encore\\_qu\\_e](http://www.cea.fr/jeunes/c_est_quoi_l_astrophysique_ou_encore_qu_e)

• Découvre la Cité de l'Espace à Toulouse et sur [www.cite-espace.com](http://www.cite-espace.com) Exposition « Curiosity : objectif Mars » jusqu'au 3 juillet 2013.

• Raymond Douglas « Ray » Bradbury\* (1920-2012) est un écrivain américain d'anticipation. Ses *Chroniques martiennes*, écrites en 1950, sont à découvrir !



La planète rouge

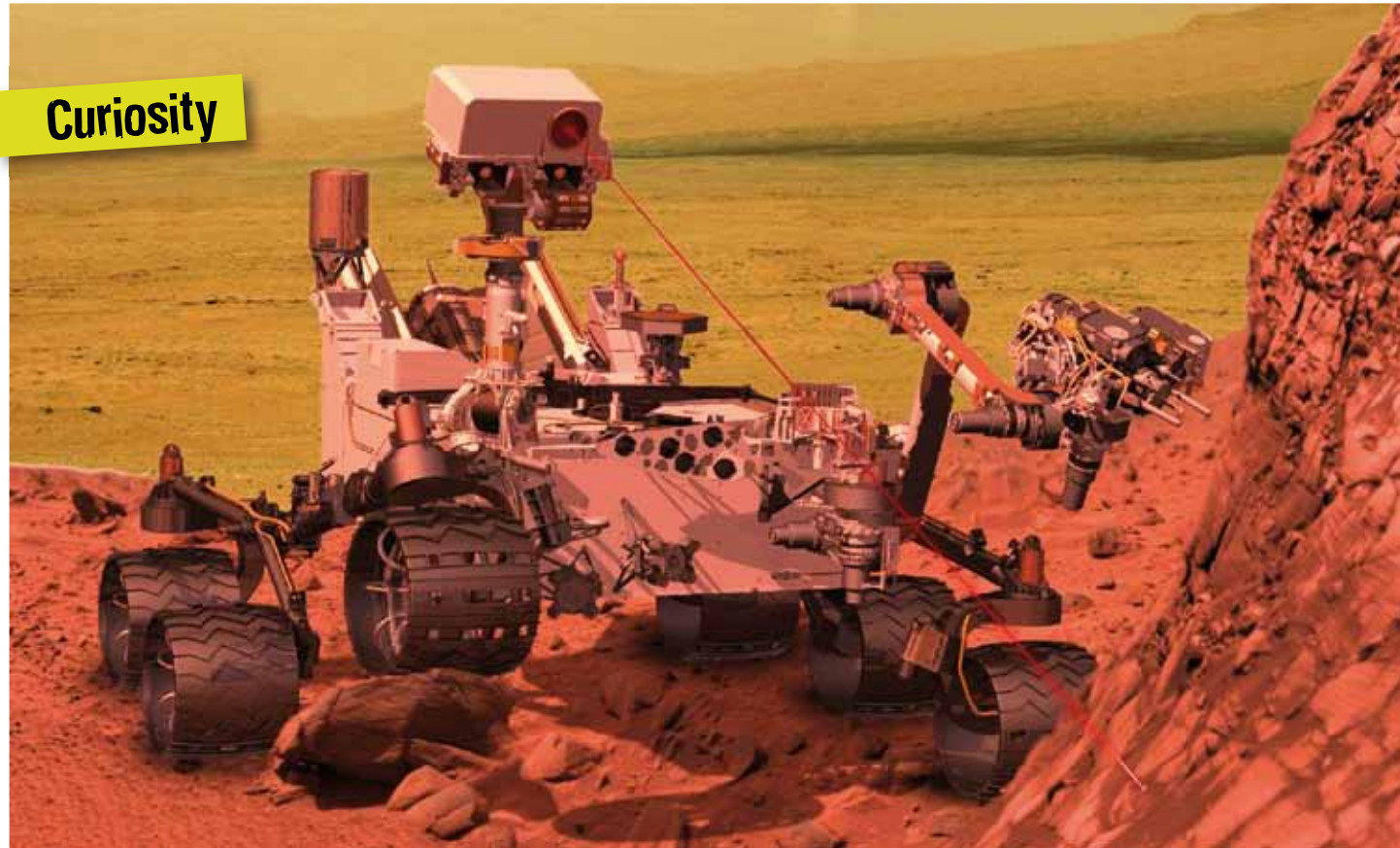
© Nasa



# Des techniques embarquées

La Nasa a cherché les meilleures technologies existantes dans le monde pour monter ce projet.

## Curiosity



### En savoir +

- La technique Libs expliquée en images sur [http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/videos/actualite/technique\\_d\\_analyse\\_a\\_distance\\_libs](http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/videos/actualite/technique_d_analyse_a_distance_libs)
- Un livret pédagogique sur « Le laser : un concentré de lumière » téléchargeable depuis [http://www.cea.fr/le\\_cea/publications/livrets\\_thematiques](http://www.cea.fr/le_cea/publications/livrets_thematiques)

### Lexique :

**Ion :** Atome ayant perdu ou gagné un ou plusieurs électrons.

**Isotopes :** Atomes de même nature chimique dont les noyaux n'ont pas le même nombre de neutrons.

**Libs :** Laser induced breakdown spectroscopy ou spectroscopie sur plasma induit par claquage laser.

## ChemCam

### Un instrument qui analyse à distance

La caméra ChemCam permet à Curiosity de choisir les roches où seront prélevés des échantillons. Il utilise la technique **Libs** développée par le CEA :

- 1 Le télescope de visée forme par autofocus une image nette de la partie du matériau à analyser.
- 2 Un rayonnement laser pulsé est focalisé sur la cible et quelque micro-

mètres cubes sont transformés en **plasma**.

- 3 La lumière émise par le plasma est récupérée et envoyée par fibres optiques vers le spectrographe situé dans le corps de Curiosity, pour déterminer la composition chimique.

Sur Terre, les applications de la Libs sont nombreuses : analyse de produits polluants, toxiques ou à haute température, analyse d'œuvres d'art et environnementales... métallurgie, analyse en milieu fortement radioactif. La seule limite est l'imagination des utilisateurs !

**µm/pixel :** Définition d'une image où un point de l'image (pixel) représente un objet d'un micromètre de largeur.

**Plasma :** État de la matière constitué d'atomes ayant perdu un ou plusieurs de leurs électrons.

**Micromètre (µm) :** Sous-multiple du mètre, égal à  $10^{-6}$  m = 0,000 001 mètre = 0,001 millimètre.

**Plasma :** État de la matière constitué d'atomes ayant perdu un ou plusieurs de leurs électrons.

**Proton :** Constituant du noyau des atomes portant une charge électrique positive.

**Spectre UV :** Résultat de la décomposition de la lumière dans le domaine des ultraviolets.

## Analyser

Des quatre instruments dédiés à l'analyse, SAM est le plus varié et complexe. Situé dans le corps du rover, il permet d'établir la composition chimique et **isotopique** d'échantillons de roche, de sol ou d'atmosphère. APXS, situé au bout du bras, est un système de détection et d'analyse par rayons X des éléments lourds présents dans les roches. ChemCam procède à leur analyse élémentaire à distance (voir ci-dessous). Enfin CheMin est un dispositif qui, recevant des échantillons de roche, cherche à déterminer leur structure cristalline. Le but de ces analyses est tout autant de découvrir les traces chimiques d'une vie passée que de mieux connaître l'histoire « géologique » de Mars.

## Étudier les rayonnements

Mars n'étant protégée par aucun champ magnétique, de nombreux rayonnements parviennent à sa surface. RAD assure la détection de **protons**, **neutrons** et **ions** divers en provenance du Soleil et du reste du cosmos. Il permet de déterminer l'altération des minéraux de la surface de Mars ainsi que l'estimation du niveau de protection nécessaire à d'éventuels astronautes. DAN est un dispositif capable de détecter les neutrons qui ont pénétré dans le sol, y ont été ralentis par des molécules d'eau (situées jusqu'à 1 m sous le robot) et qui ressortent : c'est donc un détecteur d'eau !



Montage de REMS

## Faire de la météorologie

Les instruments dédiés à la météorologie (REMS) permettent de mesurer la pression, la température et l'humidité de l'atmosphère, mais aussi la vitesse et la direction du vent. Ils sont situés sur le mât du rover. Par ailleurs, une analyse des rayons ultra-violet parvenant au sol martien est pour la première fois réalisée sur tout le **spectre UV** grâce à un détecteur placé sur le corps de Curiosity. L'ensemble des résultats obtenus servira à mieux connaître l'atmosphère martienne et déterminer l'habitabilité passée et future de cette planète.

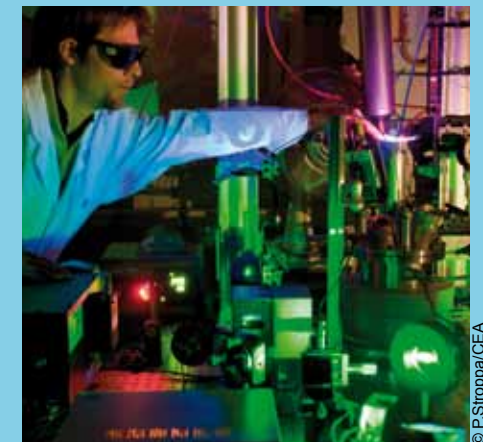
## L'analyse spectrale par Libs

Le plasma émet de la lumière en se refroidissant, quand les atomes qui le constituent se désexcitent. Ceux-ci émettent alors des couleurs caractéristiques (longueurs d'ondes) en perdant de l'énergie... En décomposant cette lumière avec un réseau optique allant de l'ultra-violet à l'infra-rouge, on obtient un spectre.

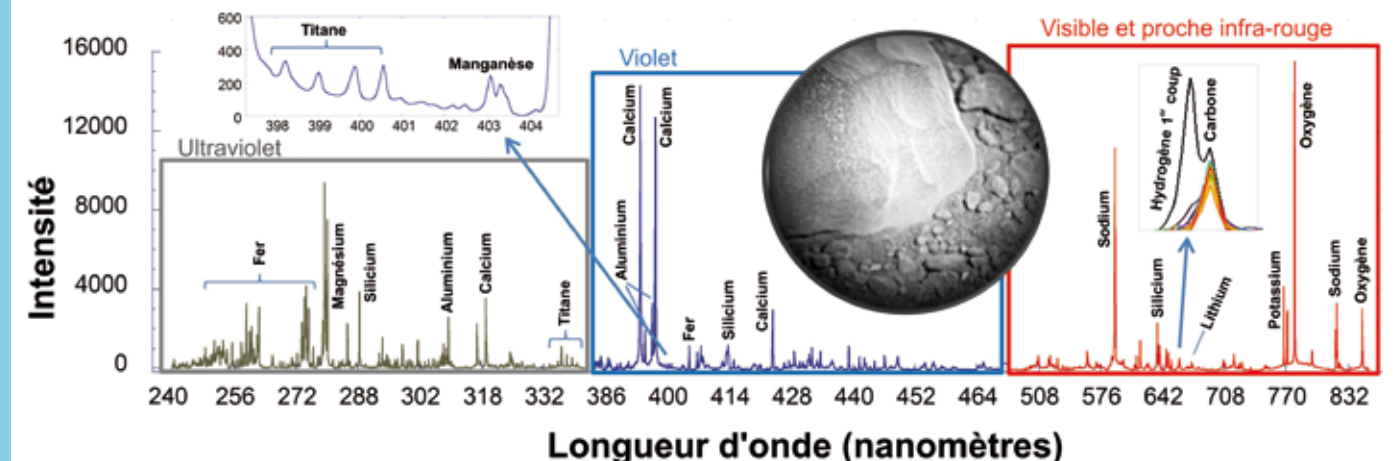
Une série de 25 000 capteurs mesure l'intensité lumineuse reçue en chaque point et repère les pics présents dans le spectre. Cette signature spectrale permet de déterminer à distance les éléments qui composent la roche.



Exemple de spectre



## Premier spectre réalisé avec ChemCam : le rocher « Coronation »





# Interviews

Grâce à leur expertise d'un système d'analyse spectrale à distance, une équipe du CEA a participé à l'aventure martienne. Ils ont dû relever nombre de défis pour équiper le rover. La communauté spatiale internationale compte désormais 3 nouveaux membres passionnés.

## Gilles Chef du service Etudes analytiques et réactivité des surfaces

« Après quelques suées froides, j'ai ressenti une joie immense et l'envie de tout de suite mener l'enquête »

**Les Savanturiers :** Comment le CEA a été amené à travailler sur ce projet ?

**Gilles :** Dès 2000, la Nasa et le Cnes ont mûri le projet MSL et cherchaient un outil innovant permettant au rover de prendre des décisions sur place. Le CEA avait développé la technologie Libs pour les réacteurs nucléaires. Le Cnes nous a contacté et notre réponse a été évidemment et immédiatement OUI !

**Les Savanturiers :** La technique Libs a-t-elle dû évoluer ?

**Gilles :** Les atmosphères terrestre et martienne étant très différentes, il a fallu construire une cellule qui reproduisait l'environnement de Mars, pour optimiser ChemCam établir une méthodologie d'analyse des spectres, faire d'énormes efforts de miniaturisa-

tion et d'allègement car nous ne disposons que de 75 kg pour l'ensemble des 10 outils d'analyse embarqués.

**Les Savanturiers :** Comment avez-vous vécu l'« amarsissage » ?

**Gilles :** Comme cela représente 10 ans de travail, ce fut un grand moment d'anxiété. La dépose d'un rover si imposant sur Mars, c'est du jamais vu ! On a retenu notre souffle durant les 7 dernières minutes, quand 21 actions se sont enchaînées : libération du parachute par des vis explosives, sortie du treuil, mise en marche des rétrofusées... Après un voyage de plusieurs millions de km (860 000 fois le trajet Paris-Marseille !), le rover s'est posé à 2,25 km de l'objectif ! Bravo la Nasa ! La joie qui a suivie s'est mêlée à

l'impatience et l'envie d'aller plus loin pour en savoir plus : y a-t-il eu de la vie sur Mars ?

**Les Savanturiers :** Et y a-t-il une autre vie pour la Libs ?

**Gilles :** En plus du domaine nucléaire, cette technologie peut servir au contrôle de procédés chimiques ou verriers et, dans une version miniaturisée, pour des études environnementales.

### Formation :

- Doctorat en Sciences physiques
- Habilitation à diriger des recherches en Chimie
- Enseignant chercheur à l'Université pendant 15 ans.



## Les news

### En direct

Curiosity communique avec la Terre sur la bande de fréquences X et se sert de trois sondes actuellement en orbite autour de Mars : Odyssey, Mars Express et Mars Reconnaissance Orbiter, comme relais sur la bande UHF. Il faut 14 mn aux messages radio pour franchir 100 millions de km.

Sur Terre, les grandes antennes (de 34 à 70 m de diamètre) qui servent aux communications avec les engins spatiaux réceptionnent les signaux en permanence.



**'Reach for the Stars' Goes Interplanetary**  
With students and NASA space shuttle astronaut Leland Melvin looking on, musical artist will.i.am posts a tweet soon after his song «Reach for the Stars» was beamed back from the Curiosity Mars rover and broadcast to a live audience at NASA's Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, California, USA, August 28, 2012. Video on [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/msl/news/msl20120828.htm](http://www.nasa.gov/mission_pages/msl/news/msl20120828.htm)

© NASA/JPL-Caltech

## Jean-Baptiste Ingénieur chercheur

« J'ai eu la chance de participer à ce projet extrêmement complexe »

**Les Savanturiers :** Quel a été votre rôle sur ce projet ?

**Jean-Baptiste :** J'ai travaillé sur l'analyse des données. J'ai développé des méthodes statistiques servant de base à des logiciels qui permettent d'identifier les roches à partir de bases de données d'échantillons connus. L'objectif est de repérer celles qui semblent « curieuses » ou carrément inconnues.

**Les Savanturiers :** Quel est le timing de ces analyses ?

**Jean-Baptiste :** A Pasadena, nous recevons les données du rover tous les jours, réparties entre les équipes de chaque instrument. En 1 h, grâce à notre œil expert sur les spectres, et aux outils développés pour les interpréter nous fournissons une analyse quali-

tative aux scientifiques : géologues, minéralogistes, chimistes, planétologues... Ils programment ensuite des réunions avec d'autres spécialistes « terrain » pour décider de déplacer, ou non, le rover et établir le programme du lendemain.

**Les Savanturiers :** Combien de temps durera la mission ?

**Jean-Baptiste :** La durée nominale est de 2 ans. Les 3 premiers mois, les analyses se passeront aux Etats-Unis. Ensuite, elles seront délocalisées ; pour notre part, entre Toulouse et Los Alamos. Mais la pile au plutonium du rover pourrait durer jusqu'à 10 ans !

**Les Savanturiers :** Qu'est ce que la mission vous a apporté ?

**Jean-Baptiste :** Ce fut tout à fait inattendu, mais ça a été une chance énorme de participer à ce projet d'une complexité folle qui a réuni plusieurs milliers de scientifiques, ingénieurs, techniciens... et a nécessité une organisation draconienne.

### Formation :

- Classes prépa Maths - Physique
- Ecole supérieure d'optique
- Thèse sur analyse des sols pollués grâce à la Libs
- Post-doc au CEA, sur le projet



## Jean-Luc Ingénieur chercheur

« Je rêvais d'Apollo et je me suis retrouvé à la Nasa ! »

**Les Savanturiers :** A-t-il fallu adapter la technique Libs aux contraintes martiennes ?

**Jean-Luc :** En plus de l'adapter à l'atmosphère martienne, il a fallu créer un laser, un spectromètre et un télescope spécifiques, les durcir pour résister aux températures extrêmes, aux chocs, aux vibrations du décollage et du freinage (le rover est passé de 20 000 km/h à zéro en 7 mn).

**Les Savanturiers :** Y avait-il d'autres spécifications ?

**Jean-Luc :** Ces trois instruments devaient avoir une taille et un poids réduits. Le laser devait ressembler au

sabre des Jedis : une vingtaine de cm de long pour 5 à 6 cm de diamètre et son alimentation devait tenir dans 2 boîtes d'allumettes ! Il a fallu retravailler toute la géométrie, l'alignement des optiques, l'emploi de colles adaptées... en collaboration avec le Cnes et la société Thalès qui l'a construit. Avec un opticien de Toulouse, nous avons mis au point le système autofocus du télescope.

**Les Savanturiers :** Combien de temps ont duré ces mises au point ?

**Jean-Luc :** Les premiers contacts ont été pris en 2001, le concept testé et validé en 2006, puis 3 ans ont été nécessaires pour mettre au point toute l'instrumentation, livrée en 2008 car le rover devait partir en 2009. Le report

du lancement à la révolution martienne suivante a permis à la Nasa d'améliorer les instruments et de les finaliser.

**Les Savanturiers :** Ce projet a-t-il été une bonne expérience ?

**Jean-Luc :** Moi qui enfant avais toujours les missions Apollo dans la tête, je me suis retrouvé à la Nasa ! Avec Gilles et Jean-Baptiste, nous avons été invités à Cap Canaveral pour le décollage d'Atlas V, la fusée qui a emporté Curiosity sur Mars.

### Formation :

- DUT
- Cycle B en cours du soir au CNAM

### Lexique :

**Bande UHF :** La bande des Ultra hautes fréquences (UHF) est la partie du spectre radioélectrique comprise entre 300 et 3 000 MHz que l'on utilise pour capter la

TV et la TNT.

**Bande X :** Bande de fréquences radio aux alentours de 8 GHz, servant aux télécommunications.

**CNES :** Centre national d'études spatiales.

**Révolution martienne :** Une année martienne, le temps mis par la planète Mars pour effectuer une révolution autour du Soleil, environ 687 jours, presque 2 années terrestres.



# Fan de la planète rouge ?

Vous êtes membre du club d'astronomie du collège. Pour être invité(e) au lancement de la fusée qui emporte Curiosity sur Mars, vous avez dû répondre à un petit questionnaire :



Amarrissage réussi!



Le cratère Gale

Maintenant que le rover s'est bien posé, vous pourriez rester aux Etats-Unis, invité(e) par l'équipe de contrôle de la mission MSL à Pasadena, si vous pouvez répondre à ces 4 questions :

## 1 Combien de temps a duré le voyage du rover ?

- 9 mois
- ▼ 1 année terrestre
- ★ 1 an martien (presque 2 ans terrestres)

## 2 Pourquoi Mars est-elle la préférée des planétologues ?

- Elle ressemble à la Terre
- ★ Elle est proche de la Terre
- ▼ L'air y est respirable

## 3 Des astronautes sont-ils partis à bord de Curiosity ?

- ▼ Oui, pour manœuvrer le rover
- ★ Ils sont restés en orbite autour de Mars
- Non, tout est commandé depuis la Terre

## 4 À quoi sert le laser embarqué sur ChemCam ?

- ★ À éclairer la route du rover la nuit
- À former un plasma de la roche visée et à en analyser le spectre
- ▼ À protéger le rover en cas de chute de météorites

## 5 À qui sont envoyées les données ?

- À des géologues, chimistes et planétologues
- ▼ À des astrologues, géologues et marsologues
- ★ Aux clubs d'astronomie associés au projet

## 6 Pourquoi Curiosity s'intéresse à la météo martienne ?

- Pour mieux connaître son atmosphère
- ▼ Pour déployer un parapluie en cas d'orage
- ★ Pour déterminer si des hommes pourraient y vivre

## 7 Passionné par cette mission, vous la suivrez via le site de la Nasa pendant :

- ▼ 3 mois
- 2 ans
- ★ 10 ans



## Sites :

La mission MSL en direct de la Nasa : [www.nasa.gov/mission\\_pages/msl/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html)

En direct du Cnes : [www.cnes.fr/web/CNES-fr/9702-la-mission-mars-science-laboratory.php](http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/9702-la-mission-mars-science-laboratory.php)

CEA : <http://www.cea.fr/>

Retrouvez les Savanturiers :

[www.cea.fr/le\\_cea/publications/les\\_savanturiers/](http://www.cea.fr/le_cea/publications/les_savanturiers/)

1- ● / 2- ● et ★ / 3- ● / 4- ● / 5- ● / 6- ● / 7- ● et ★  
pas que Mars n'en est pas une !  
Vous avez une majorité de ▲ : Vous avez la tête dans les étoiles ; n'oubliez pas que Mars n'en est pas une !  
Mars vous attire mais vous avez encore beaucoup de choses à apprendre.  
avez dû passer un 6 août exceptionnel ! Vous avez une majorité de ★ :  
vous ... excepté ceux que la mission vous permettra de découvrir. Vous

## Résultats :



Editeur : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives,  
RCS Paris B 775 685 019  
Directeur de la publication : Xavier Clément  
Ont participé à ce numéro : Florence Klotz, Jean-Luc Lacour, Lucia  
Le Clech, Gilles Moutiers, François Saint-Jalm, Jean-Baptiste Sirven.  
Création et réalisation : NPO\* - [www.nepasoublier.fr](http://www.nepasoublier.fr)  
Imprimé par EMPRIENTE - Octobre 2012

Nous remercions Fabienne Chauvière d'avoir accepté que nous lui empruntions le titre de son émission.

