



Pose du mât sur le châssis du rover MSL par les étudiants du BTS MAI (mécanique et automatismes industriels) du lycée Victor-Duruy à Bagnères-de-Bigorre, encadrés par leur professeur Stéphane Rivola. Mechanics and automation students from the Lycée Victor Duruy at Bagnères de Bigorre install the mast on the chassis of the MSL rover replica, under the watchful eye of their teacher Stéphane Rivola.

## MSL / Des BTS pour Mars

RÉALISÉ PAR ANNE LAMY POUR LE CNES

**A**nnée mondiale de l'astronomie oblige, ce *CNES Mag Educ* fait la part belle à Mars, notre « voisine » à l'échelle planétaire, dont on sait à la fois beaucoup et si peu. Mieux connaître l'évolution de la planète rouge, dont l'histoire est commune avec la nôtre, et vérifier si un jour Mars a pu connaître une forme de vie : c'est justement à cela que se prépare le projet américain MSL, *Mars Science Laboratory*, un rover qui fera l'analyse d'échantillons *in situ*. Le CNES est associé à cette mission via deux instruments stratégiques (un spectromètre d'analyse de la lumière d'un plasma issu d'un tir laser, ChemCam, et le chromatographe en phase gazeuse de SAM). Mars a une telle capacité à faire rêver qu'il ne fallait pas manquer cette formidable occasion d'en parler, d'autant que le sujet est au programme en seconde et en terminale, en SVT et en physique. C'est aujourd'hui chose faite, avec la réplique grandeur nature et intelligente du rover de MSL, conçue et réalisée par plus d'une centaine d'étudiants en BTS et lycées professionnels de Midi-Pyrénées, encadrés par des professeurs passionnés et chapeautés par le CNES. Une réussite exemplaire sur un plan éducatif autant que technologique, dont tout le monde sort gagnant. Le CNES transmet son savoir-faire au monde enseignant et sème quelques graines de spatial dans l'esprit des jeunes. Et les étudiants ont pu appréhender ce qu'est un « vrai » projet industriel, avec ses contraintes... et ses bonheurs.



Portrait Profile  
Alain Gaboriaud  
> P. 4

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

[www.cnes.fr/enseignants-et-mediateurs/](http://www.cnes.fr/enseignants-et-mediateurs/)

### MSL - Students focus on Mars

BY ANNE LAMY FOR CNES

For the International Year of Astronomy, this issue of *CNES Mag Educ* focuses on our "neighbour" Mars, a planet we know well but where so much remains to be discovered. The U.S. Mars Science Laboratory (MSL) rover is setting out to collect and analyse samples to gain new insights into the evolution of the red planet with which we share a common history, and to find out whether one day it could have supported some form of life. CNES is contributing two strategic instruments for this mission: ChemCam, a laser-induced plasma spectrometer, and SAM (Sample Analysis on Mars), a gas chromatograph. Mars is the stuff of dreams and this opportunity to take a closer look at it was too good to miss, all the more so now that it is part of the high-school science curriculum. More than one hundred high-school and vocational students from the Midi-Pyrénées region have designed and built a full-scale smart replica of MSL, guided by their devoted teachers and overseen by CNES. The project is a huge success, both educationally and technologically. CNES is giving teachers the benefit of its expertise and sowing the seeds of space in the minds of youngsters. And students have been given a taste of what it's like to work on a "real" industrial project.

# POURQUOI MARS ?

La planète rouge fait rêver quantité de scientifiques. Qu'espèrent-ils y trouver ? Quelques réponses aux questions qu'elle suscite, avant d'étudier, page suivante, la composition des roches sur Mars, la gravitation et la trajectoire pour s'y rendre.

## Qu'y recherche-t-on ?

De l'eau (surtout liquide), du carbone non oxydé, du méthane, bref toute trace nécessaire à la formation d'un début de vie organique (micro-organismes). La cartographie de Mars – qu'on connaît bien, puisqu'il existe des images avec une définition de cinq mètres ! – montre qu'il y a eu de l'eau, comme le prouvent les fleuves asséchés, les vallées de débâcles, les argiles, les roches oxydées, les sédiments, etc.

## Si on y trouve ces éléments, qu'est-ce que cela prouverait ?

Cela montrerait que la planète a pu connaître un début de vie, il y a quelques milliards d'années, quand elle était peut-être soumise à d'autres conditions atmosphériques, de température et de pression. Parmi les hypothèses avancées, les experts se demandent si l'atmosphère martienne a toujours été composée de dioxyde de carbone à 90 %. Une atmosphère plus épaisse et plus humide aurait pu avoir fourni des conditions plus favorables à la vie. Autre hypothèse : Mars a peut-être bougé sur son axe, comme la présence d'anciens glaciers pourrait le laisser supposer.

## Pourquoi Mars et pas Mercure ?

Puisqu'on se rend sur Mars, notre voisine immédiate en s'éloignant du Soleil (il n'y a pas de gauche ou droite dans l'espace) nous pourrions en effet aller sur Mercure, notre voisine plus proche du Soleil. Mais c'est un voyage complexe : paradoxalement se laisser tomber vers le Soleil pour se rapprocher de Mercure est plus complexe que d'aller vers Mars. Il faut une trajectoire en colimaçon, qui s'approche progressivement de Mercure. Ce qui rallonge le voyage qui durerait six ans et demi ! Mais tout cela, rajouté aux températures extrêmes sur place (entre -140 et +400 °C), n'empêche pas les agences spatiales de développer des projets mercuriens, comme la mission BepiColombo de l'ESA, dont le départ est prévu en 2014.

## À quel moment prévoir le lancement ?

Mars et la Terre sont des planètes voisines. Lorsqu'elles sont au plus près l'une de l'autre (quand la Terre se trouve pile entre le Soleil et Mars), 56 millions de kilomètres les séparent. Cela arrive une fois, environ, tous les deux ans. C'est quelques mois avant ce moment-là que sont programmés les lancements vers Mars. C'est pour cela que le vol de MSL, prévu initialement en octobre 2009, a été reporté en fin 2011.

## Why Mars?

*The red planet fascinates many scientists. What do they hope to find there? We shall attempt to answer some of the questions posed by Mars before studying its mineral composition, gravitation and the trajectory a spacecraft must travel to reach it.*

### What are we looking for on Mars?

Water (especially in liquid form), non-oxidized carbon, methane... in other words, any trace of elements needed to form living micro-organisms. Pictures of Mars, which we have mapped in close detail at

a resolution as high as five metres, show there must have been water to form its dried-out rivers, flood channels, clays, oxidized rocks and sediments.

### What would it mean if we find these elements there?

It would mean that life could have started to form on the planet thousands or millions of years ago, under different atmospheric, temperature and pressure conditions. One hypothesis is that Mars' atmosphere might not always have been 90% carbon dioxide. A thicker, wetter atmosphere could have created conditions more conducive to life. Another hypothesis

is that the tilt of Mars' axis might have shifted, as the presence of ancient glaciers suggests.

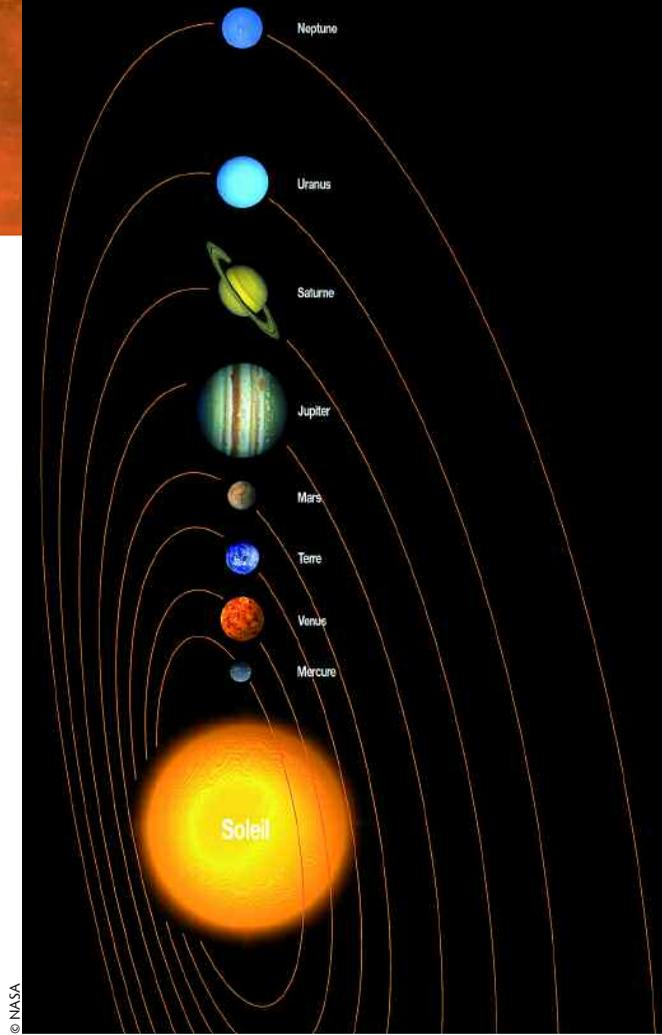
### Why Mars and not Mercury?

Since we're going to Mars, the next planet out from the Sun after Earth, we could equally well go to our other neighbour Mercury, the next planet toward the Sun. Paradoxically, getting a spacecraft to fall towards the Sun to approach Mercury is more complex than going to Mars. Such a craft would need to approach Mercury gradually on a spiral trajectory, taking it on a longer 6-year journey. But neither this nor the extreme temperatures on its

surface (-140°C to +400°C) has stopped space agencies from conceiving missions to Mercury, like ESA's BepiColombo mission scheduled to depart in 2014.

### When is the right time to launch?

Mars and Earth are neighbours. At their closest point to one another—when Earth is exactly halfway between the Sun and Mars—they are 56 million kilometres apart. This happens about once every two years, so launches to Mars are scheduled a few months before this time. That's why the MSL mission initially scheduled for October 2009 has been pushed back to late 2011.



▲▲  
Les 8 planètes du système solaire  
The 8 planets of the solar system

## À quand les premiers pas de l'homme sur Mars ?

Ce n'est pas exclu qu'un jour des astronautes aillent sur Mars. Mais c'est une véritable expédition : le trajet aller-retour dure déjà près de deux ans, pour un séjour sur place d'environ un an. Il faut un profil psychologique particulier pour vivre aussi longtemps sur une autre planète. À ce jour, la durée maximale d'un séjour dans l'espace est d'environ dix-huit mois. Une expédition martienne de trois ans serait donc une première, sur ce plan... comme sur tant d'autres. Rendez-vous en 2030 ? en 2040 ?

## When will humans set foot on Mars?

Astronauts may well land on Mars one day, but such an expeditionary voyage would mean a two-year return trip and a roughly one-year stay. Not everybody is equipped psychologically to cope with living for that long on another planet. The longest anyone has spent in space to date is about 18 months. So a three-year Mars expedition would be a first in this and many other ways. We might be ready to make that step in 2030 or 2040.

# PHYSIQUE / Partir pour Mars

# Libération de l'attraction terrestre

## SVT / Quand les roches parlent

### Exercice

Analyse de 4 images présentant divers types de roches observées sur Mars.

Ces roches sont datées du Noachien, période la plus ancienne de l'histoire de Mars. En haut à gauche, on observe la présence de carbonate (en vert) dans la région de Nili Fossae; en haut à droite, la présence de phyllosilicates (en clair sur l'image) et de chlorite (en gris clair); en bas à gauche, on note la présence de phyllosilicates (en clair sur l'image); en bas à droite, d'argiles (en brun, au centre de l'image).

■ À l'aide d'une recherche Internet, retrouvez le contexte de formation des roches sur Terre.

■ Que suggère la découverte de ces roches sur la planète Mars ?

**Réponse :** Ces roches se forment en présence d'eau; leur diversité résulte de la quantité d'eau disponible lors de leur formation

### Life science

What rocks can tell us

#### Exercice

Look at these four pictures showing different types of rocks observed on Mars.

The rocks date back to the Noachian era, the most ancient in Mars' history. In the picture top left, we can see carbonate (green) in the Nili Fossae region; top right, phyllosilicates (light colours) and chlorite (light grey); bottom left, phyllosilicates (light colours); and bottom right, clays (brown, centre).

■ Do a search on the Internet to find out how rocks form on Earth

■ What does the discovery of these rocks on Mars tell you?

**Answer:** These rocks form where water is present; the type of rock depends on the quantity of water available when they formed.

### Exercice 2

**Données /**  $M_{\text{Terre}} = 5,97.10^{24}$  kg;  $M_{\text{Mars}} = 6,42.10^{23}$  kg;  $D_{\text{Mars/Soleil}} = 228,10^6$  km;  $D_{\text{Terre/Soleil}} = 149,6.10^6$  km

Supposons qu'on lance une sonde quand la Terre est précisément entre Mars et le Soleil. On supposera que la sonde part en ligne droite de la Terre vers Mars à la vitesse de 20000 km.h<sup>-1</sup>.

1. Calculer la distance qui sépare la Terre de Mars dans cette configuration.
2. Combien de temps faudrait-il à la sonde pour parcourir cette distance ?
3. Sachant que la période de révolution de Mars est de 687 jours, de quel angle (en degrés) aura tourné Mars sur son orbite pendant la même durée ? L'hypothèse sur la trajectoire de la sonde vous paraît-elle réaliste ?

**Réponse :** 1.  $D_{\text{Terre/Mars}} = D_{\text{Mars/Soleil}} - D_{\text{Terre/Soleil}} = 228.10^6 - 149.6.10^6 = 78,4.10^6$  km

2.  $v = \frac{D}{t}$  donc  $t_{\text{Terre-Mars}} = \frac{D}{v} = \frac{78,4.10^6}{20000} = 3920 \text{ h} = \frac{3920}{24} = 163$  jours ;

3. Une révolution complète correspond à 360°.

Donc Mars aura tourné de  $= \frac{360 \times 163}{687} = 85,4^\circ$ .

On ne lance jamais une sonde en ligne droite vers Mars car le temps qu'elle arrive, Mars se sera déplacée sur son orbite.

### A journey to Mars

#### Exercice 2 / Data

$M_{\text{Earth}} = 5,97.10^{24}$  kg;  $M_{\text{Mars}} = 6,42.10^{23}$  kg;

$D_{\text{Mars/Sun}} = 228.10^6$  km;  $D_{\text{Earth/Sun}} = 149,6.10^6$  km

A spacecraft is launched when Earth is exactly midway between Mars and the Sun. Assume that the spacecraft flies in a straight line from Earth to Mars at a speed of 20,000 km.h<sup>-1</sup>.

1. Calculate the distance from Earth to Mars for this launch configuration.
2. How long would it take the spacecraft to reach Mars?
3. Given that Mars has an orbital period of 687 days, what angle (in degrees) will Mars have travelled on its orbit in that time? Does the hypothesis of a straight-line trajectory seem realistic to you?

#### Answers

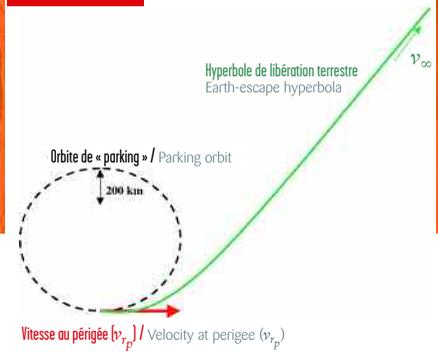
1 -  $D_{\text{Earth/Mars}} = D_{\text{Mars/Sun}} - D_{\text{Earth/Sun}} = 228.10^6 - 149,6.10^6 = 78,4.10^6$  km

2 -  $v = \frac{D}{t}$  therefore  $t_{\text{Earth-Mars}} = \frac{D}{v} = \frac{78,4.10^6}{20\ 000} = \frac{360 \times 163}{687} = 163$  days

3 - A complete orbital revolution corresponds to 360°. So, Mars will have travelled  $\frac{360 \times 163}{687} = 85,4^\circ$

A spacecraft could never be launched to Mars on a straight-line trajectory, because by the time the spacecraft got there the planet would be at a different point on its orbit.

### Exercice 1



**La première étape d'un voyage interplanétaire consiste à arracher la sonde de l'attraction terrestre.** Pour ce faire, le lanceur doit injecter la sonde (et son dernier étage propulsif) sur une orbite intermédiaire dite de « parking ». Ensuite, pour faire son voyage interplanétaire autour du Soleil, elle doit être placée sur une hyperbole de libération terrestre caractérisée par une certaine vitesse infinie (voir figure ci-dessus). Le dernier étage propulsif est utilisé afin d'augmenter la vitesse de la sonde et ainsi la placer sur son hyperbole de libération.

**Question /** Il est supposé que la sonde et le dernier étage propulsif sont placés sur une orbite circulaire à 200 km d'altitude. Quelle vitesse au périégée (point sur l'orbite le plus proche de la Terre) la sonde doit-elle atteindre afin d'être placée sur l'hyperbole de libération avec  $v_\infty$  de module 3 km/s (hyperbole typique permettant de rejoindre la planète Mars) ? La vitesse au périégée d'une orbite hyperbolique est donnée par :

$$v_{r_p} = \sqrt{v_\infty^2 + \frac{2\mu_T}{r_p}}$$

avec :

$\mu_T$ : constante de gravitation de la Terre [3.98006.10<sup>4</sup> km<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>]

$v_\infty$ : module de la vitesse infinie [km/s]

$r_p$ : rayon de périégée (altitude de périégée + rayon de la Terre [6378 km]) [km]

$v_{r_p}$ : vitesse au périégée [km/s]

**Réponse :**  $v_{r_p} = 4,59$  km/s = 16537 km/h

### Physics

#### Escaping the pull of Earth

#### Exercice 1

The first stage of any interplanetary voyage consists in escaping Earth's gravity. To do this, the launcher has to inject the spacecraft (and its upper propulsion stage) into an intermediate "parking" orbit. The spacecraft must then be placed in an Earth-escape hyperbola with a certain infinite velocity (see figure). The last propulsion stage boosts the spacecraft's velocity to put it on this hyperbolic trajectory. **Question /** Assume that the spacecraft and its upper propulsion stage are placed in a circular orbit at an altitude of 200 km. What speed at perigee (the point on the orbit closest to Earth) must the spacecraft reach to be placed on the escape hyperbola, with a modulus of velocity  $v_\infty$  of 3 km/s (a typical hyperbola used to reach Mars)?

The velocity at perigee for a hyperbolic orbit is given by:

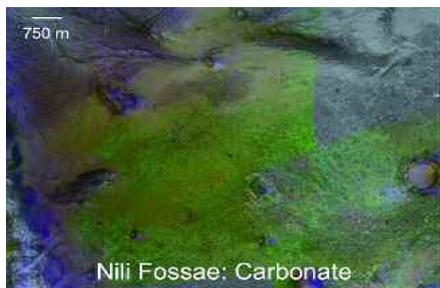
$\mu_T$ : Earth's gravitational constant [3.98006.10<sup>4</sup> km<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>]

$v_\infty$ : modulus of velocity [km/s]

$r_p$ : perigee radius (perigee altitude + Earth radius [6,378 km]) [km]

$v_{r_p}$ : velocity at perigee [km/s]

**Answer:**  $v_{r_p} = 4,59$  km/s = 16,537 km/h



Portrait *Alain Gaboriaud, chef de projet des instruments français de MSL*



“  
UNE EXPÉRIENCE SI PASSIONNANTE  
QUE PLUSIEURS JEUNES REPARTENT  
VERS UNE LICENCE PROFESSIONNELLE  
OU UNE ÉCOLE D'INGÉNIEURS PAR  
ALTERNANCE APRÈS LEUR BTS. POUR  
DEVENIR UN JOUR, À LEUR TOUR,  
CHEF DE PROJET ? ”

*Several of the students found the experience so stimulating that they are moving on to a vocational degree or engineering school. Maybe one day they will be project leaders, too.*

© CNES/EMMANUEL GRIMAULT, 2009

PROFILE: ENGINEER  
Alain Gaboriaud  
Piecing together the rover replica

*Alain Gaboriaud, who is in charge of the French instruments on MSL, coordinated construction of a replica of the MSL rover with 10 vocational schools in the Midi-Pyrénées region.*

## Profession ingénieur / Chef d'orchestre de la réplique du rover

Alain Gaboriaud, chef de projet des instruments français de MSL, a coordonné la réalisation de la maquette du rover construite par une dizaine d'établissements scolaires de BTS de la région Midi-Pyrénées. Il revient sur sa fonction de chef de projet au service planétologie/microgravité du CNES.

Cursus classique

- Baccalauréat S :
  - Maths Sup, Maths SP
- École d'ingénieur (Doctorat)
  - Master 2 (Doctorat)
  - BTS ou IUT
- École d'ingénieur classique ou en alternance

- Career path
- Baccalauréat S (science)
- \* Maths preparatory school
- Engineering school (PhD)
- \* Masters degree (PhD)
- \* Vocational college or polytechnic institute
- Traditional engineering school course or alternating with vocational college course

Tôt dans sa carrière, après un diplôme d'ingénieur de Sup aéro, les pas d'Alain Gaboriaud croisent le CNES, dont il ne quittera pratiquement plus le sillage. Le rôle d'interface entre le CNES et d'autres structures (Astrium, Spot Image, laboratoires du CNRS, DGA, etc.) l'emballa très vite, « pour découvrir une culture différente et relever les défis technologiques ». Une telle tournure d'esprit est un atout pour un chef de projet qui se doit en outre de posséder de solides compétences transverses pour comprendre les contraintes d'un projet en mécanique, thermique, électronique, optique, programmation, assemblage, etc. Cette polyvalence, Alain Gaboriaud l'a acquise au fil du temps; elle lui vaut d'être aujourd'hui chef de projet des instruments scientifiques pour des missions planétaires. Une passion qui se voit jusque dans son bureau, où trône un globe martien, bien sûr ! Ses interlocuteurs sont américains (avec MSL), japonais et européens (BepiColombo) et russes (Phobos Grunt). Ils viennent aussi de moins loin, comme ces étudiants de Midi-Pyrénées qui ont construit la réplique du rover de MSL. Ce projet, c'est un peu la vitrine idéale du spatial. C'est aussi une première, dont chacun ressort gagnant: le CNES, qui transmet son savoir-faire et fait naître des vocations spatiales, les étudiants et leurs professeurs, qui découvrent les contraintes « grandeur nature » d'un tel projet. Car Alain Gaboriaud le souligne: « On n'aurait pas procédé différemment dans le spatial ! On a découpé ce projet en plusieurs morceaux, puis fixé un planning. Au final, il faut que chaque morceau du puzzle arrive au bon moment et s'ajuste avec les autres, et que le budget soit respecté. » Par ailleurs, ce projet en réseau a fait se rencontrer des étudiants aux profils différents: « Savoir travailler et dialoguer ensemble, c'est essentiel. »

After graduating from France's ENSAE aerospace engineering school (Supaéro), Alain Gaboriaud's path crossed that of CNES very early on in his career. He soon took to his role interfacing between CNES and its partners "because I was looking for an engineering challenge and to experience a new culture," he explains. That's the sort of mindset you need to be a project leader. Today, Alain Gaboriaud is project leader for science instruments on planetary missions. His passion for planets is obvious from the globe of Mars that sits proudly in his office. His counterparts work in the United States, Japan, Europe and Russia. But he also works with people nearer to home, like the group of Midi-Pyrénées students who built the MSL replica. This project is a showcase for the space sector and a win-win proposition for both parties: for CNES, which is inspiring future careers in space, and for the students and teachers who are learning what it's like to work on a "real-life" project. As Alain Gaboriaud stresses, "we wouldn't have done things any different on an actual space project! At the end of the day, each piece of the puzzle has to be ready on time and has to fit with the other pieces, and we have to keep within budget." This networked project also brought together students from different horizons: "Being able to work together and build dialogue is vital."

(N.D.L.R. nos remerciements vont à/Editor's note: we would like to thank Jean-Paul Castro et Yves Darbarie, professeurs de physique et SVT physics and life science teachers, Michel Vouzelle, professeur chargé de mission auprès du CNES CNES teaching advisor, Marc Rubaud, inspecteur d'académie IPR schools inspector, Régis Bertrand et Francis Rocard du/at CNES et Sylvestre Maurice du/at CERS/OMP pour leur précieuse collaboration for their invaluable assistance.)



© CNES/HERVÉ PIRAUD, 2009