



© NASA/JPL CALTECH

Mars Science Laboratory / Une mission au cœur du cratère Gale

LILIANE FEUILLERAC POUR LE CNES

Début août, Curiosity, le rover de la mission MSL lancée le 26 novembre 2011, posera ses bagages sur Mars, où il doit visiter en détail le cratère Gale. Son séjour n'aura rien d'une promenade de santé. Laboratoire de haute technologie, Curiosity va collecter images et données. L'album souvenir qu'il va constituer sera précieux pour la communauté scientifique. ChemCam et Sam, les deux instruments à participation française, vont l'aider à lire dans les secrets de l'atmosphère et du sol martiens. Pour les lycées, cette mission d'exploration robotique de la Nasa pourra apporter une approche nouvelle sur deux points au programme des classes de 2^e SVT. L'instrument ChemCam analysera par spectrométrie la lumière d'un plasma issue d'un tir laser sur les roches martiennes, une manière de rendre plus *fun* la traditionnelle étude du spectre, de l'irradiance et de la minéralogie. Le chromatographe français de la suite instrumentale SAM va détecter la plus large gamme possible de composés organiques. Il remontera ainsi la chaîne qui, d'atomes en molécules, peut mener jusqu'à la « brique du vivant ». On sait que celle-ci a été formée de molécules organiques simples comme les acides aminés... une avancée considérable sur le chemin de nos origines. Attention, on est encore loin des petits hommes verts !!!

MARS SCIENCE LABORATORY Journey to the centre of Gale Crater

LILIANE FEUILLERAC FOR CNES

Early in August, the Curiosity rover on the MSL mission launched 26 November 2011 will set down on the surface of Mars in the middle of Gale Crater. The high-tech lab will then embark on a punishing schedule to collect images and data eagerly awaited by the scientific community. ChemCam and SAM, the two instruments to which France is contributing, will help it probe the secrets of Mars' soil and atmosphere. For high schools, NASA's robotic exploration mission could inspire a new approach to two aspects of the curriculum for 10th grade life and Earth science classes. The ChemCam instrument will analyse the light spectrum of a plasma generated by vaporizing Martian rocks with a laser, offering teachers a more fun way to study the light spectrum, irradiance and mineralogy. The French gas chromatograph on the SAM instrument suite will detect a broad range of organic compounds, moving up the chain from atoms and molecules to the "building blocks" of life. We know that life was formed from simple organic molecules like amino acids—a significant step forward in the search for our origins, but still a long way from little green men on Mars!



Portrait Profile
Éric Lorigny
> P. 4


www.cnes.fr
www.cnes.fr/enseignants-et-mediateurs/

À QUOI SERT UN LABORATOIRE SUR MARS ?

Pourquoi envoyer une mission comme MSL sur Mars ?

Les conditions martiennes et terrestres présentent des points communs. C'est pourquoi, depuis près de cinquante ans, les scientifiques s'intéressent à Mars. MSL se situe dans une suite logique d'explorations. Elle est la dernière en date et la plus élaborée d'une longue série. En 1965, pour la première fois, une sonde survole Mars. En 1971, une autre l'observe de manière détaillée. En 1976, le premier atterrisseur réalise les premières cartographies en se posant sur son sol. Depuis les années 2000, des robots mobiles ont effectué des relevés de cartographie et d'échantillons. MSL sera le premier gros laboratoire in situ. Sur place, il fera la première analyse d'échantillons minéraux et gazeux. Cette analyse sera affinée sur Terre. Il préfigure d'autres missions approfondies d'exploration robotisée et prépare des programmes potentiels d'exploration humaine.

Pourquoi le rover Curiosity est-il cinq fois plus lourd que ses prédécesseurs ?

Qui dit laboratoire dit mesures, analyses... Les scientifiques veulent recueillir un maximum d'informations. D'où les 85 kg de matériel scientifique emportés par Curiosity ! Il a embarqué une dizaine d'instruments, en particulier deux mini-laboratoires pour analyser les composants organiques et minéraux ainsi qu'un système d'identification à distance de la composition des roches. Ces laboratoires doivent être alimentés par un générateur spécifique, dont le poids se rajoute. Enfin, la charge utile comprend des logiciels très élaborés pour assurer une bonne circulation du véhicule sur un sol rocheux et accidenté : le rover peut gravir des pentes de 45 % !

Comment les scientifiques vont-ils récupérer et exploiter ses données depuis la Terre ?

Pendant son séjour, Curiosity va rester en contact avec la Terre par l'intermédiaire de moyens au sol spécialement conçus pour la mission. En France, ce centre d'opérations s'appelle le Fimoc. De là, les ingénieurs vont surveiller les instruments français, le spectromètre ChemCam et le chromatographe SAM-GC. Ils traiteront les données reçues pour les rendre utilisables par la communauté scientifique. Ils enverront chaque jour, au rover, l'emploi du temps de ChemCam pour les vingt-quatre heures suivantes, et les consignes pour l'instrument SAM-GC lorsqu'il faudra l'actionner. Les équipes françaises pourront aussi avoir des informations sur l'ensemble des instruments, mais elles ne pourront intervenir que sur les instruments français.

A laboratory on Mars

Why are we sending a mission like MSL to Mars?

Conditions on Mars have points in common with those here on Earth. That's why scientists have been studying Mars for nearly 50 years. MSL is in fact the latest and most sophisticated in a long line of exploration missions. The first flyby probe reached Mars in 1965 and the first detailed observations of its surface were acquired in 1971. In 1976, the first lander mapped Mars' surface for the first time. The 2000s saw the first mobile rovers to perform mapping surveys and collect samples. MSL will be the first large laboratory to operate in situ, analysing mineral and gas samples. These analyses will be refined back on Earth. MSL is setting the stage for more ambitious robotic exploration missions and paving the way for potential crewed missions.

Why is the Curiosity rover five times heavier than its predecessors?

Scientists are keen to conduct as many measurements and analyses as possible, which explains why Curiosity is carrying 85 kilograms of science equipment, including 10 instruments, with two mini-laboratories to analyse organic compounds and minerals, and a system able to remotely identify rock composition. These laboratories are powered by their own generator, which adds more weight. Lastly, the payload includes highly sophisticated software needed to traverse rocky, hilly terrain and climb slopes of up to 45%.

How will scientists retrieve and exploit Curiosity's data from Earth?

During its stay, Curiosity will remain in contact with Earth via specially designed ground systems. In France, engineers will monitor the French mission instruments—the spectrometer on ChemCam and the SAM-GC gas chromatograph—from the French Instrument Mars Operations Centre (FIMOC). They will process data received from the instruments and ready them for use by the scientific community. Every day, they will uplink ChemCam's work schedule for the next 24 hours to the rover, along with instructions for the SAM-GC instrument when it is activated. The French teams may also receive data from the full instrument suite, but they will only operate the French instruments.

EXERCICE DE PHYSIQUE

ANALYSE DES ROCHES MARTIENNES EN DIRECT ET À DISTANCE

A. Principe de ChemCam

ChemCam met en œuvre la technique Libs (*laser induced breakdown spectroscopy*) d'analyse spectroscopique induite par ablation laser. Son laser pulsé émet un rayonnement à 1 067 nm (nanomètre) délivrant 30 mJ (millijoule) pour une durée d'impulsion de 6 ns. Son mode de fonctionnement consiste en des séquences de tir de 10 secondes à 10 Hz toutes les 5 minutes. L'interaction du faisceau laser pulsé de forte puissance avec un matériau provoque un échauffement brutal de la surface éclairée et sa vaporisation sous forme d'un plasma¹. Il est important de comprendre que le plasma se formera si, au niveau de la cible, l'irradiance I (puissance par unité de surface) est supérieure à $I_{seuil} = 1,0 \text{ GW/cm}^2$. C'est pourquoi ChemCam est pourvu d'un système de focalisation du faisceau laser qui est tel qu'au niveau de la cible le diamètre du faisceau est $D = 350 \mu\text{m}$.

Dans ces conditions, les atomes et les ions éjectés et portés dans des niveaux d'énergie excités émettent, en se désexcitant, un rayonnement analysé par spectroscopie entre 250 et 900 nm, qui donne un spectre d'émission atomique. Les longueurs d'onde des raies

“**UNE JOURNÉE MARTIENNE OU « SOL » DURE VINGT-QUATRE HEURES ET QUARANTE MINUTES.**”

“A Martian day or 'sol' lasts 24 hours and 40 minutes.”

d'émission permettent alors d'identifier les éléments présents. L'intensité est proportionnelle à la densité des atomes émetteurs.

À partir du spectre proposé et des données, déterminer l'élément le plus abondant dans la roche α .

Indices :

Déterminer les longueurs d'onde des raies numérotées.

¹ Plasma : matière partiellement ou totalement ionisée. Un plasma est un milieu constitué d'un mélange de particules neutres, d'ions positifs (atomes ou molécules ayant perdu un ou plusieurs électrons) et d'électrons négatifs. Un plasma est électriquement neutre et ses particules interagissent les unes avec les autres.

QUESTIONS :

1. – Exprimez puis calculez la puissance P générée par le laser du module ChemCam lors d'une impulsion.
2. – Calculez l'irradiance I au niveau de la cible. L'impact du faisceau laser sur la cible va-t-il produire un plasma ? Justifiez.

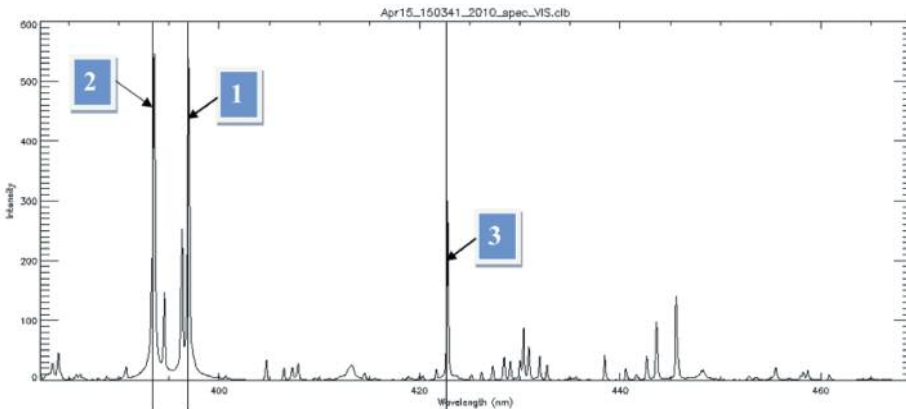
B. Analyse d'un spectre :

En laboratoire, des tests sur des roches ont été effectués et, pour une roche α , voici le spectre obtenu par le module ChemCam :

Indiquez, en expliquant, le domaine du rayonnement produit par ce laser.
Déduez-en le type de spectroscopie utilisé par le module ChemCam.

B. Spectrum analysis

Rocks have been tested in the laboratory and here, for a rock α , is the spectrum obtained by ChemCam:



Indicate and explain the range of radiation produced by the laser.
Deduce the type of spectroscopy used by ChemCam.

Données : Data:

Surface d'un disque $S = \pi \cdot R^2$
Surface area of a disk $S = \pi \cdot R^2$
Wavelength = longueur d'onde

Tableau des raies d'émission de certains éléments
Table of emission lines for certain elements

Element	Emission lines in nm between 380 nm and 460 nm				
Éléments	Raies d'émission en nm entre 380 nm et 460 nm				
Al	390,178	394,512	396,264	458,710	
Ca	393,477	396,959	422,792	442,668	443,692
Fe	426,167	427,236	432,698	438,478	448,351
Si	385,711	390,663	412,923	413,206	

(NDLR. Merci à Sylvestre Maurice, Agnès Cousin et Olivier Forni, de l'Irap, pour leur aide dans la conception de cet exercice.)
Thanks to Sylvestre Maurice, Agnès Cousin and Olivier Forni at IRAP for their help in designing this exercise.

PHYSICS EXERCISE
Remote and in-situ analysis of Martian rocks

A. How ChemCam works

ChemCam uses a laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) technique. Its pulsed laser emits a 1,067-nm (nanometre) ray delivering 30 mJ (millijoules) for 6 ns, firing for 10 seconds at 10 Hz every five minutes. The high-power laser beam causes the surface of the targeted material to heat suddenly and vaporize into a plasma. It is important to understand that a plasma¹ will form if the irradiance I (power per unit area) at the target exceeds $I_{\text{threshold}} = 1.0 \text{ GW/cm}^2$. That is why ChemCam has a system for focusing its laser beam so that the beam diameter at the target is $D = 350 \mu\text{m}$. The light emitted by excited atoms and ions is analysed by spectroscopy between 250 and 900 nm

to yield an atomic emission spectrum. The wavelengths of the emission lines are then used to identify the elements present and the intensity is proportional to the density of the emitting atoms.

From the spectrum and data given, determine the most abundant element in the rock α .

Clues:

- Determine the wavelengths of the numbered lines.

¹ A plasma is a partially or totally ionized matter comprising a mixture of neutral particles, positively charged ions (atoms or molecules that have lost one or more electrons) and negatively charged electrons. A plasma is electrically neutral and its particles interact with each other.

QUESTIONS

- 1-Express and then calculate the power P generated by ChemCam's laser when it fires a pulse
- 2- Calculate the irradiance I at the target. Will the laser beam generate a plasma when it hits the target? Explain your answer.

POUR APPROFONDIR :
LEARN MORE
<http://www.msl-chemcam.com>
Site dédié à la mission MSL
MSL mission website

- http://www cea.fr/content/download/4309/22163/file/73_79_mauchien_54fr.pdf
- <http://www.culture.gouv.fr/culture/conservation/fr/methodes/atome.htm>
- <http://www.rdv-routedeslasers.com/libs/programme.php>
- <http://www.universcience.tv/media/2944/1-analyse-a-distance-libs.html>

Corrigés : partie A

• Puissance $P = \frac{\text{Énergie}}{\text{Durée}} = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{6,0 \cdot 10^{-9}} = 5,0 \cdot 10^6 \text{ W}$

• Irradiance $I = \frac{P}{S(\text{focalisation sur cible})} = \frac{5,0 \cdot 10^6}{(\cdot (175 \cdot 10^{-6})^2)} = 5,2 \cdot 10^{13} \text{ W/m}^2 = 5,2 \text{ GW/cm}^2$

Answers / Part A

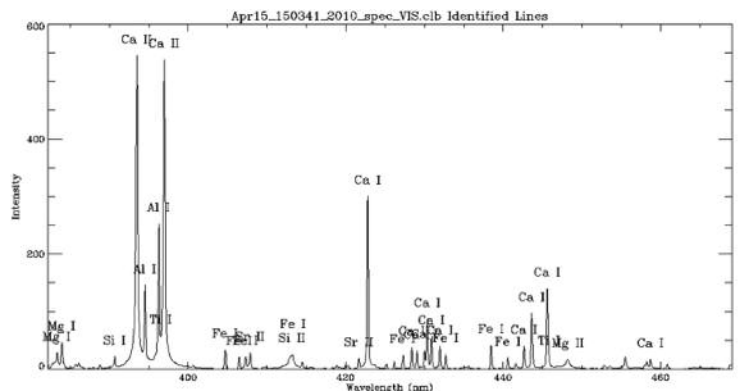
• Power $P = \frac{\text{Énergie}}{\text{Durée}} = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{6,0 \cdot 10^{-9}} = 5,0 \cdot 10^6 \text{ W}$

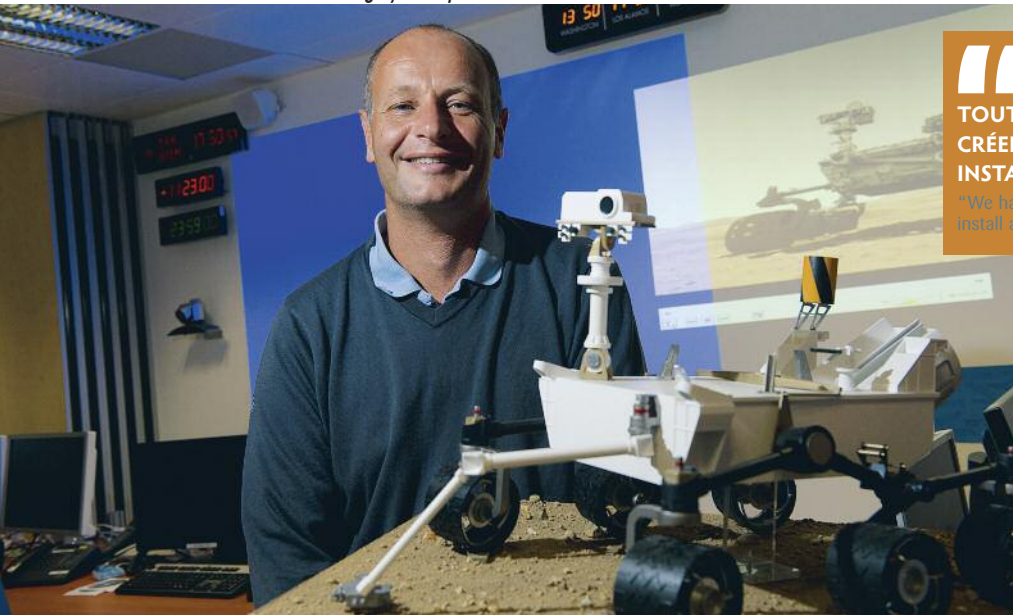
• Irradiance $I = \frac{P}{S(\text{focalisation sur cible})} = \frac{5,0 \cdot 10^6}{(\cdot (175 \cdot 10^{-6})^2)} = 5,2 \cdot 10^{13} \text{ W/m}^2 = 5,2 \text{ GW/cm}^2$

Corrigés : partie B
Answers / Part B

Raies	1	2	3
Lines			
Longueurs d'onde (nm)	393,4	396,9	422,4
Wavelengths (nm)			

Ces raies correspondent aux raies d'émission de l'élément calcium.
These lines match the emission lines of the element Calcium.





“**TOUT ÉTAIT À FAIRE. IL FALLAIT DÉFRICHER, CRÉER, METTRE EN PLACE, ORGANISER, INSTALLER ET DÉVELOPPER... !**”

“We had to start from scratch and set up, organize, install and develop the operations centre.”

PROFILE
ERIC LORIGNY
FIMOC Director

A dreamworld adventure

Children grow with their dreams. For as long as he can remember, Eric Lorigny has dreamt only of science-fiction, spacecraft and extragalactic universes.

Now an adult, he lives his dream every day on another planet. At the controls of the French instruments on the Curiosity rover, he is in charge of the FIMOC¹ operations centre, dividing his time between Mars and Earth. Even his telephone is set to Mars time! Eric Lorigny chose robotics as his option for his engineering degree, after which a first short-term contract in 1992 took him to CNRS, the French national scientific research centre, for the Cassini-Huygens mission. Tracking the spacecraft from Saturn to Titan confirmed the young engineer's taste for planetary science and it was here that he undertook his first projects in the space sector.

In 1994 he joined CNES's mechanisms department and then in 2000 began training astronauts. “My job was to train astronauts to perform experiments aboard the ISS,” Eric explains. “The human contact offered welcome relief from the sometimes tedious side of robotics.” He happily combined these two roles for seven years. In 2009, he applied to join the FIMOC for what he knew would be an exceptional mission. Starting everything from scratch, he and his team took on the heavy responsibility of setting up, organizing, installing and developing the operations centre. “Researchers define their hypotheses and it's not our job to decide if they are well founded; we simply have to make it possible for them to be verified,” he notes. All the while, he looked forward with eager anticipation to his future rendezvous with Mars.

And as Eric Lorigny is the kind of guy who puts back into life what he gets, he is one of the many CNES engineers involved in the *Espace c'est classe* (Space is a class act) operation for schools—a great way to communicate to children his passion for science and the Universe.

¹ French Instruments Mars Operations Centre

Une aventure aux confins du rêve

Ce sont les rêves qui font grandir les enfants. Du plus loin qu'il se souvienne, Éric Lorigny n'a rêvé que science fiction, vaisseaux spatiaux et univers extragalactique.

Enfant ne rêve plus : devenu grand, il est chaque jour sur une autre planète. Aux manettes de l'instrumentation française du rover Curiosity, il assure la responsabilité du Fimoc et passe sa vie entre Mars et la Terre... Même son téléphone est réglé sur l'heure martienne !

Parcours scolaire sans faute, trajectoire universitaire sans aléa, quand Éric Lorigny passe son diplôme d'ingénieur, c'est l'option « robotisation » qu'il choisit. En 1992, son premier CDD le conduit au CNRS dans le sillage de la mission Cassini-Huygens. À suivre la sonde spatiale de Saturne à Titan, où elle atterrit, le jeune ingénieur confirme son attirance pour l'espace planétaire et signe ses premières coopérations avec le secteur spatial.

En 1994, il rejoint les équipes du CNES où il intègre le département Mécanismes, puis, en 2000, il devient entraîneur pour spationautes ! « Dans le cadre des vols habités, des expériences devaient être réalisées à bord de la station spatiale internationale. J'avais pour mission d'entraîner les spationautes à mettre en œuvre ces expériences. Cet aspect humain coupait avec le côté un peu rébarbatif de la robotique », explique Éric Lorigny, qui, pendant sept ans, trouvera son bonheur dans cette alternance de tâches. En 2009, quand il postule pour le Fimoc, il a conscience de s'engager dans une mission d'exception : « Tout était à faire. Il fallait défricher, créer, mettre en place, organiser, installer et développer... ! » Une lourde responsabilité qu'il vit comme sa quote-part dans un travail d'équipe. « Les chercheurs ont leurs hypothèses ; nous n'avons pas à juger du bien-fondé de celles-ci ; nous avons juste obligation de rendre l'hypothèse vérifiable », dit-il. Sans boudier son plaisir, car, d'avance, il se délecte de ses rendez-vous futurs avec Mars. Heureux et serein dans ce milieu intergalactique.

Et, comme il n'est pas ingrat, Éric Lorigny rend à la vie la monnaie de sa pièce : il est l'un des nombreux ingénieurs CNES impliqués dans l'opération *L'Espace c'est classe*, un programme éducatif en direction des scolaires, une manière d'offrir à l'enfance sa part d'enthousiasme pour la science et pour l'Univers.

Cursus classique

- 1986 - Baccalauréat série C
- 1991 - Diplôme d'ingénieur UTC en robotisation
- 1992 - Ingénieur au CNRS
- 1994 - Entrée au CNES
- Career path
- 1986 - Baccalaureate (science stream)
- 1991 - Engineering degree (robotics)
- 1992 - CNRS engineer
- 1994 - Joins CNES

© CNES/IE. GRIMALDI, 2012

(N.D.L.R. Nos remerciements vont à Stéphane Blat, professeur de physique. Yves Darbarie, professeur de SVT. Michel Vauzelle, professeur chargé de mission auprès du CNES. Alain Gaboriaud, CNES) / (Editor's note: Our thanks to physics teacher Stéphane Blat; Life and Earth science teacher Yves Darbarie; Michel Vauzelle, teacher and advisor to CNES; and Alain Gaboriaud, CNES).