

# La chimie et ses méthodes à l'assaut de Mars

R. Agnès Jacquesy



« La Terre est le berceau de l'humanité, mais on ne passe pas sa vie entière dans un berceau » écrivait en 1911 le génie autodidacte, père visionnaire de l'astronautique, Konstanty Tsiolkovski dont le nom a été donné à un cratère lunaire. Grand admirateur de Jules Verne, il décrit en 1903, dans un ouvrage théorique, *L'exploration de l'espace cosmique*, une fusée à propergol liquide, assez puissante pour se libérer de l'attraction terrestre.

Notre satellite n'ayant pas réussi à satisfaire nos rêves – la découverte d'une vie extraterrestre –, la planète Mars devenait l'objectif suivant, même si elle est actuellement froide et sèche, tout à fait inhospitalière. En effet, avec ses canyons, canaux, volcans visibles de la Terre, on imagine aisément qu'elle a connu des bouleversements climatologiques et que son sol regorge de minéraux dont l'étude peut éclairer l'histoire de ses derniers milliards d'années. Cette connaissance essentiellement chimique pourrait également éclairer la genèse et l'évolution de notre Terre.

Si la vie, passée ou actuelle, exige, comme on le pense, la présence d'eau, l'étude récente des volcans sous-marins et autres curiosités terrestres montre que des conditions – *a priori* défavorables – d'acidité, de température, de salinité, etc. n'empêchent nullement le foisonnement d'espèces à la chimie inattendue. Là encore, pour connaître et comprendre, la chimie est reine.

Aucun échantillon ne sera ramené de Mars (coût évalué à 2 milliards de dollars) ; ce que l'on connaît et connaîtra dans un futur proche résulte des données recueillies par des sondes en orbite dotées de caméras et de systèmes d'analyse bien connus des chimistes.

## De l'eau sur Mars, c'est prouvé !

L'observation d'une surface profondément ravinée a, de longue date, convaincu scientifiques et poètes que Mars avait connu l'eau. Omega, embarqué sur la sonde Mars Express, a observé en 2004 la présence de minéraux hydratés au sein de dépôts sédimentaires. La jeune normalienne Jessica Flahaut, honorée par deux prix de thèse, a montré l'existence d'affleurements d'argiles sur plusieurs milliers de kilomètres carrés. Formés par altération aqueuse, ils sont donc les probables témoins d'un climat humide et doux, il y a quelques 4 milliards d'années. Elle a également montré la présence de dépôts riches en sulfates formés en conditions acide et aqueuse, vraisemblablement au cours d'inondations, ce que confirment les premiers résultats de la mission martienne en cours : le 27 septembre 2012, découverte de galets arrondis par une érosion vigoureuse et d'un delta d'alluvions avec dépôt de

sédiments ressemblant au relief de la Death Valley américaine ; le 4 octobre, photos d'un ancien cours d'eau !

La recherche d'eau, objectif initial, est maintenant supplantée par celle de traces qui témoigneraient d'une forme de vie, hypothèse confortée par l'existence d'un changement climatique radical avant lequel il aurait fait chaud et humide sur Mars.

## Et maintenant, le Mars Science Laboratory et Curiosity

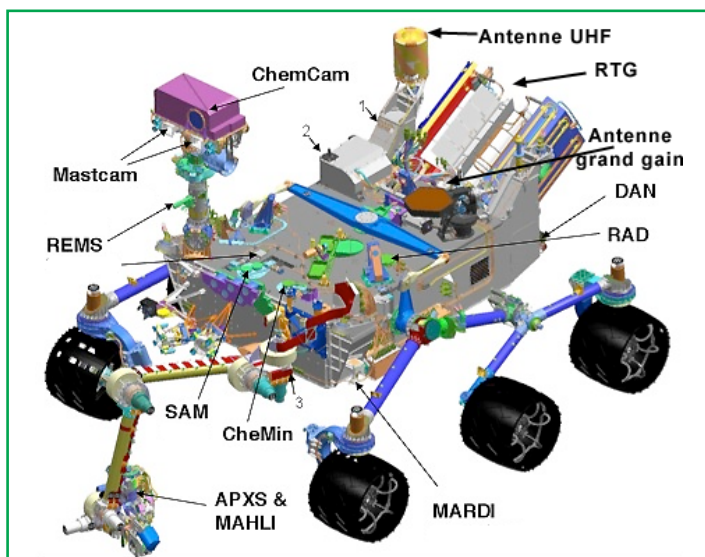
La sonde spatiale, lancée le 26 novembre 2011 par une fusée Atlas V, s'est posée le 6 août 2012. Le « rover » (astromobile en français) Curiosity transporte 75 kg de matériel scientifique, dont deux mini-laboratoires pour l'analyse des composés organiques et minéraux et un système laser pour identifier la composition des roches à distance. L'énergie est fournie par un générateur thermoélectrique à radioisotope.

L'instrumentation embarquée est conçue pour étudier la chimie du carbone sur Mars, confirmer la géologie martienne et analyser les dépôts hydrothermaux, sources potentielles de vie à l'instar de ce qui s'est passé sur notre Terre. Huit axes principaux ont été retenus, dans lesquels la chimie occupe une place privilégiée :

- recenser les composés organiques présents à la surface de Mars et établir leur distribution ainsi que leur concentration et leur éventuelle chiralité ;
- quantifier les éléments chimiques fondamentaux de la biochimie : carbone, oxygène, hydrogène, azote, phosphore et soufre ;
- identifier d'éventuelles traces de processus biologiques ;
- caractériser la composition de la surface et des couches superficielles du sol d'un point de vue minéralogique, isotopique et chimique ;
- comprendre les processus de formation et d'altération des sols et des roches ;
- déterminer le schéma d'évolution de l'atmosphère de Mars sur les quatre derniers milliards d'années ;
- établir les cycles de l'eau et du dioxyde de carbone ainsi que la distribution actuelle de ces deux molécules sur la planète ;
- mesurer le spectre large des radiations à la surface de Mars.

## L'équipement scientifique pour la chimie martienne

Le CHEMCAM (« CHEMistry CAMera ») permet d'analyser à distance la nature, la composition et l'état d'altération des roches. Il utilise pour la première fois sur un engin spatial la technique d'analyse spectroscopique induite par ablation laser : un laser pulsé tire sur la roche à analyser, provoquant la fusion de sa couche superficielle et générant un plasma. La lumière de désexcitation émise dans le visible et l'ultraviolet est collectée par un télescope et envoyée à trois spectromètres qui établissent la composition chimique élémentaire de la roche. Commandé au CNES (Centre national d'études spatiales) par la NASA, la réalisation de CHEMCAM a été confiée au Centre d'étude spatiale des rayonnements (CESR/Observatoire Midi-Pyrénées) de Toulouse. Celui-ci a demandé au CEA (PLANI : Plateforme LASer Nanoseconde pour



Les principaux équipements et instruments du rover Curiosity (© NASA).

applications Industrielles, Département de Physico-chimie) de réaliser les études préliminaires et la mise au point de l'instrument. La partie optique a été développée par l'Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (RAP, Toulouse) sur la base d'un laser développé par Thales. Les spectromètres et l'intégration de l'instrument sont placés sous la responsabilité du Laboratoire national de Los Alamos.

L'APXS (« alpha-particle X-ray spectrometer ») est un spectromètre à rayons X qui doit mesurer l'abondance des éléments chimiques lourds dans les roches et le sol. Il combine les techniques de la spectrométrie de fluorescence X et de la sonde nucléaire PIXE. L'instrument utilise le curium 244 comme source de rayons X. Il peut déterminer l'abondance relative des éléments allant du sodium au brome. La détection d'une quantité de 100 parties par million (ppm) de nickel et de 20 ppm de brome nécessite trois heures. La détection de certains éléments comme le sodium, le magnésium, l'aluminium, le silicium, le calcium, le fer et le soufre peut être obtenue au bout de dix minutes si leur abondance est supérieure à 0,5 %.

CheMin (« The Chemistry and Mineralogy instrument ») effectue l'analyse minéralogique d'échantillons de roches par diffraction X et fluorescence X. L'objectif est de détecter la présence de minéraux formés en présence d'eau. L'échantillon est introduit dans une capsule d'analyse située sur un carrousel comprenant 26 autres capsules utilisables. Le 17 octobre 2012, CheMin avale le premier échantillon d'une complexité et d'une variabilité géologiques plus importantes que prévues, et le 30 octobre, la diffraction X montre la similarité avec les sols basaltiques d'origine volcanique d'Hawaï (la météorite martienne récemment découverte à Tissint est une shergottite picritique, une roche magmatique [1]).

SAM (« Sample Analysis at Mars ») est un mini-laboratoire (surnommé le couteau suisse !) destiné notamment à déterminer l'habitabilité présente et passée de la planète, principalement par la recherche et la caractérisation des molécules organiques qui peuvent se trouver dans le sol martien. Il est composé de trois instruments :

- un chromatographe en phase gazeuse constitué de six colonnes, chacune dédiée à une famille de composés chimiques, effectue la séparation, éventuellement après dérivatisation automatisée. Les échantillons gazeux peuvent provenir de l'atmosphère de Mars ou du traitement thermique et chimique des échantillons solides collectés par le rover Curiosity. Ce chromatographe a été développé conjointement par le LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales) et le LISA (Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques), deux laboratoires mixtes de recherche de l'Université de Paris et du CNRS faisant partie de l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), sous l'égide du CNES ;

- un spectromètre de masse à quadrupôle utilisé pour analyser les gaz de l'atmosphère ou les produits obtenus thermiquement à partir d'un échantillon du sol martien (développé par le Goddard Space Flight Center, NASA) ;

- un spectromètre laser réglable qui permet d'obtenir les ratios des isotopes du carbone et de l'oxygène dans le dioxyde de carbone et dans les traces éventuelles de méthane (développé par le Jet Propulsion Laboratory, NASA) ;

SAM est situé, comme CheMin, dans la partie avant du corps du rover, avec des ouvertures débouchant sur le pont supérieur pour introduire les échantillons solides, et d'autres sur l'avant du rover pour les échantillons gazeux.

Le 2 novembre dernier, les premiers échantillons atmosphériques ne révèlent pas la présence significative de méthane, ce qui ne décourage pas les chercheurs qui avaient souligné la grande variabilité saisonnière et donc celle de la composition de l'atmosphère (c'est le printemps sur Mars). Le cycle de l'eau actuel sera mesuré à partir des sulfates minéraux (l'eau est libérée aux heures les plus chaudes et absorbée aux heures les plus froides), avec le spectromètre à rayons X APXS aidé de la caméra à microscope MAHLI.

## La production d'énergie

Pour ses déplacements sur Mars et ses multiples travaux scientifiques, le rover Curiosity doit disposer d'une source d'énergie indépendante de l'éclairage naturel (durant les longs hivers martiens, les expériences Spirit et Opportunity avaient dû être arrêtées !). Elle est assurée par un générateur original, conçu et développé aux États-Unis, le MMRTG (pour « multi-mission radioisotope thermoelectric generator »). Il utilise une charge de 4,8 kg de dioxyde de plutonium  $\text{PuO}_2$  enrichi en plutonium 238, générant une puissance initiale d'environ 2 000 W thermiques convertis nominalement en 120 W électriques par des thermocouples innovants en tellure de plomb/tellures d'antimoine, de germanium et d'argent (PbTe/TAGS en anglais), au lieu des anciens alliages silicium-germanium. Le rover dispose ainsi de 2,7 kWh/j et d'une autonomie nominale d'une année martienne, soit près de deux années terrestres. L'électricité est stockée dans deux batteries au lithium-ion rechargeables ayant chacune une capacité de 42 Ah. Un système de radiateurs comportant près de 50 m de tubes dans lesquels circule un fluide caloporteur permet de rejeter la chaleur excédentaire.

## Les dernières nouvelles...

Scoop du chef de la mission, John Grotzinger, le 21 novembre 2012 : SAM aurait fourni « des données qui vont rentrer dans les livres d'Histoire ». Mais chut, il n'en dira pas plus... du moins avant le congrès de l'Union américaine de géophysique, prévu du 3 au 7 décembre. Les Français en charge, Michel Cabane (LATMOS) et Patrice Coll (LISA), sont plus attentistes : « Les données sont de très bonne qualité mais il faut encore du temps pour que nous les comprenions. »

Alors quelles nouvelles depuis ce congrès ? Espoir déçu... pour le moment ! À suivre...

Paris, le 10 décembre 2012

[1] Voir *L'Act. Chim.*, déc. 2012, 369, p. 55 ([www.lactualitechimique.org/enligne\\_bref\\_art.php?cle=333](http://www.lactualitechimique.org/enligne_bref_art.php?cle=333)).



### R. Agnès Jacquesy

est membre de commissions d'évaluation des chercheurs au Ministère chargé du Développement durable. Au cours de sa carrière, elle a notamment été directrice scientifique adjointe du département Chimie, puis du département Sciences de la vie du CNRS, ainsi que directrice adjointe du PIREN (programme interdisciplinaire sur l'environnement)\*.

\* [agnes.jacquesy@noos.fr](mailto:agnes.jacquesy@noos.fr)