

Sur terre, le métabolisme d'une grande partie des organismes vivants est une source de méthane importante, sans aucun doute la source principale du méthane de l'atmosphère terrestre. Le méthane est donc associé à la vie, ce qui motive sa recherche sur d'autres mondes, en particulier sur Mars. Cependant cette recherche n'est pas sans difficultés : les observations existantes effectuées depuis la Terre, à l'aide d'instruments en orbite autour de la planète rouge et depuis peu, depuis la surface, sont diverses et pour l'instant contradictoires.

Introduction

Le méthane (CH_4) est une molécule organique naturellement présente sous sa forme gazeuse dans l'atmosphère terrestre. Ce composé est le seul hydrocarbure qui peut être obtenu facilement grâce à un processus biologique naturel. Il est issu de la fermentation des matières organiques animales ou végétales en l'absence d'oxygène (milieu anaérobie). Le méthane se dégage également de manière naturelle dans les zones humides peu oxygénées, comme les marais, marécages ou tourbières et certains sols longuement inondés (rizières). Il est aussi produit dans l'estomac et le tube digestif de nombreux animaux. Les responsables de ce processus naturel sont les bactéries méthanogènes. Le processus de croissance microbienne consomme de l'énergie, obtenue lorsque les microorganismes effectuent des réactions biochimiques d'oxydo-réduction. On parle de méthanogénèse lorsque les réactions d'oxydation des composés organiques sont couplées à des réactions de

réduction aboutissant finalement à la production de méthane. Les bactéries méthanogènes, strictement anaérobies, conduisent à la production de méthane à partir d'un mélange de gaz carbonique et d'hydrogène. Ces bactéries réduisent le CO_2 en méthane.

Le méthane est également émis dans les fonds marins au niveau des sources thermales. Celles-ci sont des événements hydrothermaux situés le long des dorsales océaniques permettant d'évacuer une partie de la chaleur interne de la Terre. La composition de ces sources varie en fonction de la température et de la nature des roches traversées lors de la remontée du fluide vers le fond marin ; en général elle diffère de celle de l'eau de mer avoisinante. Ce fluide est caractérisé par de hautes températures (entre 350 et 400°C) et de fortes concentrations en gaz dissous, notamment du méthane.

De grandes quantités de méthane seraient piégées sous forme de clathrates (hydrates de méthane : mélange glacé d' H_2O et de CH_4) au fond des océans et dans les pergélisols (sol qui se maintient à une température égale ou inférieure à 0°C pendant au moins deux années). Les clathrates ne sont qu'une étape de stockage provisoire du méthane; ils sont stables à basse température et/ou relativement haute pression.

Les volcans de boue (*mud volcano*) sont une autre source de méthane. Environ 1100 volcans de boue ont été répertoriés sur les terres émergées et on estime qu'il en existe plus de 10000 sur les pentes continentales et les plaines abyssales. Ils varient énormément en taille : de quelques centimètres de hauteur à quelques centaines de mètres, et de moins d'un mètre de large à plusieurs kilomètres. Qu'ils soient sur terre ou au fond des mers, ces volcans rejettent vers la surface des boues riches en méthane (plus de 90% de méthane, le reste de CO_2). Jusqu'à présent, les chercheurs pensaient que le méthane dégagé des fonds marins était immédiatement métabolisé par les microorganismes, et ne pouvait en conséquence atteindre la surface pour se répandre dans l'atmosphère. Mais apparemment, sous certaines conditions, le nuage projeté par l'éruption pourrait atteindre la surface. Le méthane

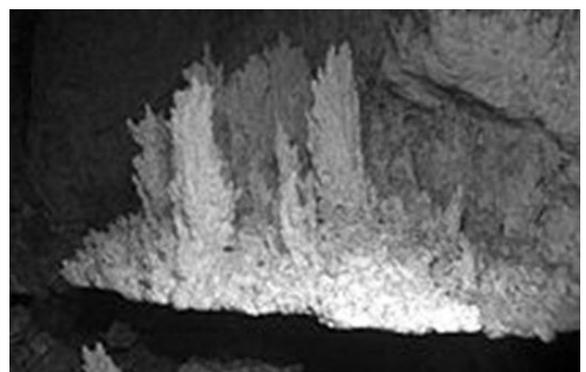


Figure 1 : Le site hydrothermal Lost City, découvert en 2000, est situé au milieu de l'Atlantique. Il est constitué d'évents d'hydrogène et de méthane. Les cheminées blanches sont formées de carbonates et s'élèvent jusqu'à 60 m de hauteur. Crédits : University of Washington/Woods Hole Oceanographic Institution



Figure 2 : Quelques exemples de volcans de boue : dans le parc National du Yellowstone (40 cm de haut – Crédits : S.R. Brantley) ; un volcan au Pakistan

peut également s'échapper de la croûte terrestre, en suivant des failles et des fractures et être émis dans l'atmosphère de manière diffuse ou locale.

Sur les fonds océaniques, les suintements de méthane abritent des communautés biologiques très riches, notamment au niveau des zones de subduction ou des grands deltas sous-marins des fleuves terrestres. Des bactéries, dites méthanotrophes, peuvent

tirer leur énergie de l'oxydation du méthane produit. On trouve là de nombreuses espèces animales, vivant souvent en symbiose avec ces bactéries. Pour ces écosystèmes privés de lumière, le méthane est une source d'énergie indispensable.

La durée de vie du méthane dans l'atmosphère terrestre est brève (une dizaine d'années). Il y est détruit par des radicaux hydroxyle (OH^\cdot) ainsi que par l'action de

bactéries méthanotrophes dans les sols.

Le méthane et la vie

Sur Terre, donc, le méthane est associé à la vie. Et la question se pose de savoir si observer du méthane sur une planète équivaut à y découvrir la vie. Pour détecter la vie sur une planète, des changements globaux de sa surface ou de son atmosphère ont dû se produire à cause de la présence de

ce biota, c'est-à-dire de l'ensemble des organismes vivants (flore, faune, champignons, microorganismes, etc.). En particulier, les composés chimiques créés par la vie peuvent être suffisamment abondants pour produire une 'signature' dans le spectre de la planète. Cette caractéristique spectrale est appelée signature biologique ou encore biosignature. L'oxygène et l'ozone sont de tels signaux pour la Terre : l'oxygène est produit par la photosynthèse, tandis que l'ozone est généré par la photolyse de l'oxygène. Cependant, sur des planètes habitables en orbite autour d'une étoile semblable à notre Soleil, des atmosphères riches en CO_2 ne produisent pas assez d'oxygène ou d'ozone pour qu'ils soient détectables dans leur spectre. En général, on ne peut les utiliser comme biosignatures. Le méthane a été proposé comme possible biosignature. Cependant, comme nous l'avons vu, ce composé peut être produit par des processus biologiques ou géologiques.

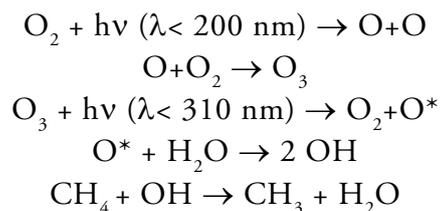
On connaît deux chemins de destruction du CH_4 dépendant de la quantité d'oxygène présente. Dans une atmosphère riche en oxygène (comme sur Terre), CH_4 réagit très rapidement avec le radical hydroxyle provenant de la



Photographie : Ian R. McDonald, Texas A&M University-Corpus Christi

Figure 3 : Clathrate, avec un léger dégazage, photographié par 4000 m de fond dans le Golfe du Mexique. Ce monticule de quelques mètres de diamètre a une couleur bleutée caractéristique de la glace. Une abondante vie existe autour de ces zones de dégagement de méthane et autres hydrocarbures. En effet des bactéries hétérotrophes utilisent ces hydrocarbures comme source de carbone réduit qu'elles oxydent (respiration aérobie) grâce à l' O_2 dissous dans l'eau de mer. Ces bactéries sont à la base d'une chaîne alimentaire complexe, ce qui explique l'abondance (par 4000 m de fond) d'organismes macroscopiques visibles tout autour de l'affleurement de clathrates. Crédits : Ian R. McDonald, Texas A&M University

photodissociation de l'oxygène moléculaire suivant la chaîne suivante



Par contre dans une atmosphère pauvre en oxygène (comme sur Mars), la destruction du méthane passe essentiellement par sa photodissociation sous l'effet du rayonnement ultraviolet.

L'élimination du méthane atmosphérique dans une atmosphère riche en oxygène est plus rapide et efficace que son taux de production géologique, de sorte que ce type d'atmosphère requiert une source biologique pour maintenir le niveau de méthane présent dans l'atmosphère. Pour cette raison, certains ont suggéré qu'une détection de méthane associée à celle de l'oxygène (ou de l'ozone) serait une preuve de l'existence de la vie. Pour des planètes dont l'atmosphère est riche en CO_2 , le méthane peut être détectable dans leur spectre même si sa source primordiale est de nature géologique.

Quoi qu'il en soit, trouver de grandes quantités de méthane sur Mars permettrait d'envisager l'hypothèse d'une vie sur Mars, sous réserve que les processus de formation du méthane soient semblables à ceux existant sur Terre. Comme on l'a vu, aucune observation n'a mis en évidence de telles quantités de méthane. Alors, ceci signifie-t-il qu'il n'y a pas de vie sur Mars ? Pas nécessairement. L'absence de méthane ou sa présence en trace ne signifient pas que la planète Mars est dénuée de vie. Car même sur Terre,

il existe des microorganismes qui ne produisent pas de méthane. De la même manière, de tels microorganismes pourraient théoriquement exister sur Mars.

Par exemple, sur Terre, les bactéries dites hydrolytiques ne rejettent pas de méthane. Ces organismes ont pour caractéristique de transformer la matière organique complexe (protéines etc.) en éléments beaucoup plus simples (peptides, acides aminés...). Dans ce groupe de bactéries, on trouve notamment le genre *Clostridium* (le bacille du tétanos en fait partie) et le genre *Bacillus* (parmi ces bactéries, souvent présentes dans le sol, on trouve notamment *Bacillus anthracis*, responsable de la maladie du charbon).

Par ailleurs, il est à noter que, si la planète Mars est certes probablement dénuée de vie à l'heure actuelle, il n'est en revanche pas interdit de faire l'hypothèse que les choses aient peut-être été très différentes dans le passé.

Le méthane a été détecté sur Mars par différentes techniques d'observation. Cette découverte a suscité de nombreuses controverses et discussions. En effet, les modèles théoriques basés sur nos connaissances actuelles de la composition de l'atmosphère martienne et des réactions photochimiques qui s'y déroulent, indiquent que la durée de vie du méthane dans l'atmosphère de Mars serait de l'ordre de 300 à 600 ans. Ceci implique que le méthane observé aujourd'hui ne peut pas avoir été produit dans un passé lointain, certainement pas au moment de la formation de la planète il y a 4,5 milliards d'années. Comment expliquer la présence de ce composé dans l'atmosphère de la planète rouge ?

Observations du méthane sur Mars

Avant tout, essayons de bien appréhender les différentes observations qui ont été réalisées et d'en comprendre les résultats, leurs implications ainsi que leurs limitations.

Le méthane a été détecté depuis la Terre à l'aide d'instruments associés à des télescopes pointés sur la planète rouge. Ils analysent le rayonnement solaire réfléchi par la planète lointaine. Par exemple, le télescope Canada-France-Hawaï (CFHT) a permis de mesurer des concentrations de l'ordre de 10 ± 3 ppbv¹ en 1999 (Krasnopolsky et al., 2004), et le télescope IRTF de la NASA a observé en 2003 des émissions de méthane sous forme de panaches localisés à Syrtis Major, Terra Sabae et Nili Fossae (Mumma et al., 2009). Ces derniers ont également mis en évidence des changements saisonniers avec un maximum de méthane en été près de l'équateur (~45 ppbv). La difficulté de telles observations provient de notre propre atmosphère qui absorbe également le rayonnement recueilli. Rappelons que même si les proportions sont différentes, ce sont les mêmes espèces qui constituent les atmosphères de Mars et de la Terre. La première étape du traitement des données correspond dès lors à l'élimination du signal provenant de l'atmosphère terrestre. Ce type d'observation est optimal lorsque la vitesse relative de Mars par rapport à la Terre est la plus grande (mouvement apparent de Mars s'approchant ou s'éloignant de la Terre). En effet, dans ce cas, des raies correspondant à la même transition spectrale seront décalées dans les spectres de l'atmosphère terrestre et ceux de Mars, suite à l'effet Doppler.

¹ ppbv = *part per billion by volume* : 1 part pour 1 milliard

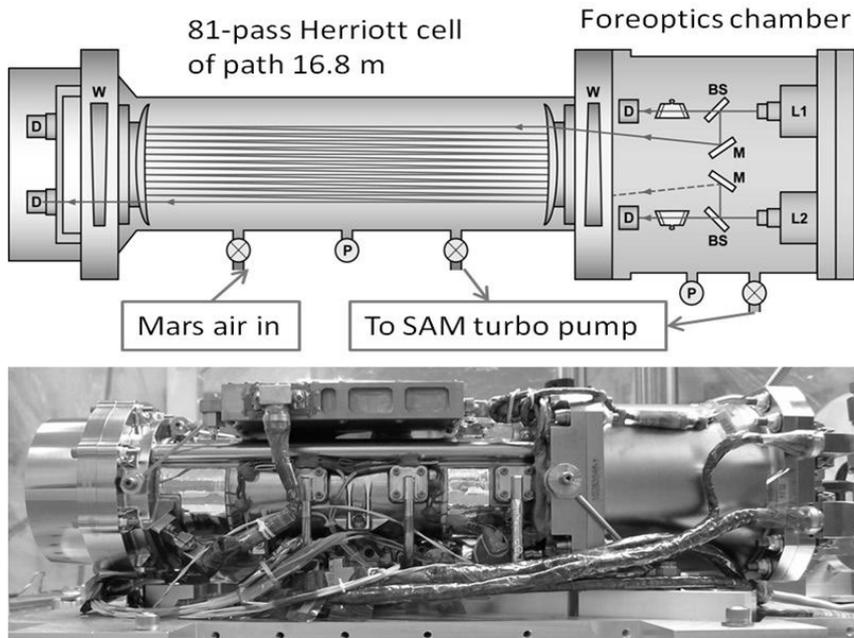


Figure 4 : Vue de l'instrument TLS, l'un des instruments embarqués sur MSL. Il peut mesurer les concentrations de dioxyde de carbone, de méthane et de la vapeur d'eau. Crédits : NASA/JPL-Caltech

L'élimination du spectre 'terrestre' en sera plus aisée.

L'instrument PFS (*Planetary Fourier Transform*) à bord de la sonde européenne Mars Express a également rapporté des observations de méthane en 2004 (Formisano et al., 2004). Une analyse détaillée des données recueillies par PFS (Geminale et al., 2011) a indiqué une concentration moyenne de 15 ± 5 ppbv, avec un maximum pendant l'été dans les régions polaires dans l'hémisphère Nord (-45 ppbv). Il faut cependant reconnaître que ces mesures sont entachées d'une très grande incertitude étant donné le niveau de bruit de l'instrument ainsi que sa faible résolution spectrale : la signature recherchée sort à peine du bruit et n'est visible que sur deux 'pixels' contigus.

A partir des spectres obtenus par l'instrument TES (*Thermal Emission Spectrometer*) à bord

de *Mars Global Surveyor*, des concentrations entre 5 et 60 ppbv ont été déduites (Fonti et al., 2010), présentes de façon intermittente au-dessus de sites géologiquement favorables, comme Tharsis et Elysium, où l'on a détecté des activités géothermiques résiduelles. Cette étude relève cependant davantage d'une étude statistique de marqueurs spectraux que d'une analyse spectroscopique rigoureuse.

Des observations plus récentes réalisées par l'instrument IRTF en 2006 (Krasnopolsky, 2011) indiquent des valeurs de l'ordre de 10 ppbv aux moyennes latitudes au-dessus de Valle Marineris, ainsi qu'une limite de détection de 3 ppbv en dehors de cette région. Des observations faites en 2009 montrent cette fois des valeurs de détection limite de l'ordre de 7 à 8 ppbv. Les observations les plus récentes montrent que la concentration de méthane a fortement décliné depuis la période 2004-

2006, suggérant une très courte durée de vie du composant dans l'atmosphère.

Le Laboratoire scientifique pour Mars (MSL, *Mars Science Laboratory*) a été lancé en 2011 par l'Agence spatiale américaine. Son site d'atterrissage se situe dans le cratère Gale. Le rover, baptisé *Curiosity*, doit rechercher si un environnement favorable à l'apparition de la vie a pu exister sur Mars. Il embarque donc une série d'instruments qui vont lui permettre d'étudier la composition minéralogique et la géologie de la zone explorée, d'analyser la composition de l'air ainsi que la météorologie et les radiations atteignant le sol martien. C'est ainsi que *Curiosity* possède un instrument dédié à la recherche du méthane. Il s'agit du spectromètre TLS (*Tunable Laser Spectrometer*), un des instruments de la suite instrumentale SAM (*Sample Analysis of Mars*). Ce spectromètre (voir Figure 4) est un laser ajustable qui permet d'obtenir des informations sur les abondances relatives des différents isotopes du carbone et de l'oxygène du CO_2 et de mesurer les traces de méthane. Un premier résultat publié en 2013 (Webster et al., 2013) indiquait une 'non-détection', la concentration mesurée étant en effet de $0,18 \pm 0,67$ ppbv, valeur trop peu précise pour annoncer une détection claire et non ambiguë. Par contre, la valeur de la limite de détection, de 1,3 ppbv, était significativement plus faible que les concentrations observées jusqu'alors.

Depuis, d'autres mesures ont été effectuées (Webster et al., 2014), 13 au total sur une période de 605 sols (1 sol = 1 jour martien = 24 heures 37,3 minutes) : il s'agit de 11 mesures avec injection directe et de 2 avec enrichissement. Rappelons que l'instrument SAM

possède une cellule dans laquelle l'échantillon d'air est injecté. Il peut l'être de deux manières : l'injection directe qui consiste juste à remplir la cellule par l'échantillon ; l'injection enrichie qui permet un enrichissement par un facteur 23 de la concentration en méthane en faisant passer lentement l'échantillon au-dessus d'un filtre purificateur. Tous les résultats obtenus sont indiqués à la Figure 5. On y voit que les mesures peuvent se regrouper en trois catégories correspondant à des valeurs basses pour des injections directes (moyenne = $0,89 \pm 1,96$ ppbv), des valeurs basses pour une mesure enrichie (moyenne = $0,69 \pm 0,25$ ppbv), et enfin des valeurs plus élevées (moyenne = $7,19 \pm 2,06$ ppbv). Les valeurs les plus basses sont interprétées comme représentatives du niveau de fond du méthane. Le plus surprenant, ce sont les pics de concentration mesurés à quatre reprises sur une période de 60 sols. Ces pics ne peuvent s'expliquer que par la présence de sources locales proches du rover. En effet, *Curiosity* s'est peu déplacé sur la période concernée, et en particulier, moins de 1 kilomètre sépare les deux sites d'observation caractérisés respectivement par des valeurs basses et hautes de la concentration en méthane. Avec des vents de l'ordre de 7 m/s, cette distance est parcourue en seulement 2 minutes. Le fait que les hautes valeurs aient persisté pendant 60 sols et ensuite qu'elles aient disparu en moins de 50 sols n'est pas consistant avec un processus bien mélangé, mais plutôt avec une production locale et ponctuelle.

Le méthane sur Mars

Pour comprendre les quantités de méthane actuellement observées sur Mars, il faut tout d'abord essayer de comprendre les différentes sources possibles, mais

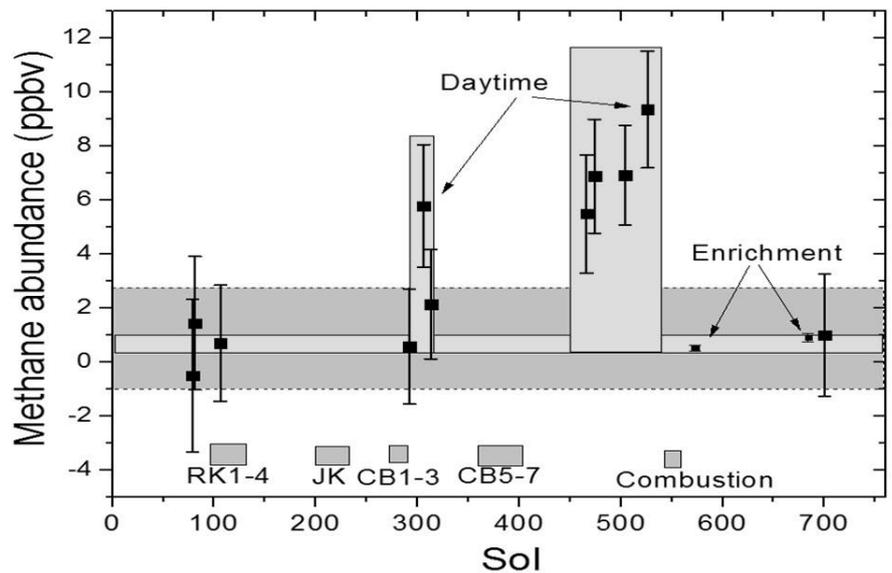


Figure 5 : Concentrations du méthane obtenues grâce à l'instrument TLS. Toutes les mesures y sont reproduites. Les barres verticales représentent l'erreur sur la mesure. On voit que, sur de très courtes périodes de temps, les concentrations de méthane peuvent grandement varier. Crédits : NASA/JPL-Caltech

aussi déterminer quels pourraient être les processus de destruction du méthane. En effet, ce n'est pas tout de rejeter du méthane dans l'atmosphère par différents processus pour expliquer les niveaux détectés aujourd'hui : étant donné la longue durée de vie du composé, une fois émis dans l'atmosphère, il devrait rapidement (en tout cas bien avant les 300 à 600 ans de vie) y être distribué de manière homogène suite aux mouvements de circulation atmosphérique. Or ce n'est pas ce qui est observé : tout tend à indiquer que le méthane est émis localement et détruit rapidement avant de pouvoir être transporté au loin. Actuellement, aucun processus de destruction capable d'expliquer ces observations n'a pu être avancé.

La Figure 6 présente les divers mécanismes proposés permettant de produire et détruire le méthane martien. Celui-ci pourrait provenir de différentes sources ou réservoirs biologiques ou abiotiques. Ces derniers couvrent la production géologique comme la serpentinisation de l'olivine (ré-

action de l'olivine avec de l'eau), l'érosion du sol basaltique qui contiendrait des inclusions de méthane, ou encore des sources géothermales. Le rayonnement ultraviolet peut induire des réactions qui génèrent du méthane à partir de composés organiques produits eux-mêmes par des processus biologiques ou non, comme par exemple la chute de comètes ou de météorites. Le méthane peut provenir de réservoirs souterrains, ayant été stocké sous forme de clathrates qui, sous certaines conditions, peuvent se déstabiliser, atteindre la surface et y relâcher le méthane emprisonné (Gloesener et al, 2013). L'hypothèse biologique, avec une activité microbienne productrice de méthane, est envisageable mais probablement seulement en profondeur. Cependant, cette hypothèse n'explique pas, par simple diffusion jusqu'à la surface, les amplitudes importantes relevées par *Curiosity*. Ensuite, les vents distribuent rapidement le méthane provenant de ces différentes sources. Le méthane peut être détruit par des processus photochimiques. Ces réactions

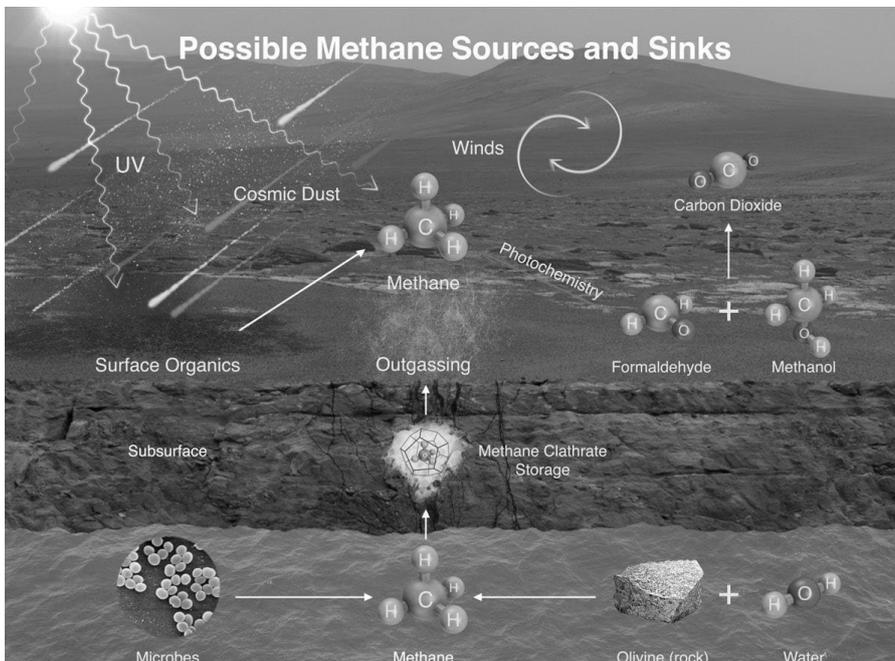


Figure 6 : Sources et mécanismes de dégradation possible du méthane martien: apport de matière organique par des météorites (cosmic dust) transformée ensuite en méthane par les UV, production par des micro-organismes enfouis (microbes), altération de l'olivine en présence d'eau liquide (water), stockage sous forme de clathrates (clathrate storage), transformation par les UV (photochemistry) en formaldéhyde et méthanol puis en CO₂. Crédits: Nasa/JPL/SAM-GSFC/Univ. of Michigan

oxydent le méthane en CO₂ et forment des composés intermédiaires comme le formaldéhyde ou le méthanol.

Il est également possible que des poches de méthane se soient formées en profondeur il y a bien longtemps, d'origine volcanique, hydrothermale, biologique ou par transformation de matière organique, et soient devenues ins-

tables à la suite de la chute d'un bolide ou d'une activité sismique. Le méthane ainsi libéré aurait pu être transporté en surface par des failles ou des fractures. Il est donc tout à fait possible, et probable, que ce méthane ne résulte pas de la dégradation de matière organique d'origine biologique ou d'une production d'origine microbienne.

L'hypothèse du volcanisme est peu probable car les volcans martiens sont endormis depuis bien longtemps. L'activité des derniers volcans date de plusieurs millions d'années. Les cartes thermiques de la planète n'ont jamais révélé la présence de points chauds ni d'anomalies thermiques.

Les observations de *Curiosity* ne résolvent donc pas le problème du méthane sur Mars. Peut-être que la sonde indienne *Mars Orbiter Mission* récemment arrivée autour de la planète aidera à résoudre cette question car l'un des instruments embarqués est un spectromètre à très haute résolution destiné à la détection du méthane. Une chose est sûre, l'ESA prépare activement la mission ExoMars, dont le premier élément, TGO – *Trace Gas Orbiter*, sera lancé en janvier 2016. A son bord, une série d'instruments qui permettront non seulement l'observation détaillée du méthane mais aussi d'un vaste ensemble d'autres composés atmosphériques de sorte que différentes hypothèses pourront être validées ou invalidées. En particulier, l'instrument NOMAD (*Nadir and Occultation for Mars Discovery*) étudiera en détails la composition de l'atmosphère. Il rendra possible l'établissement de cartes et donc permettra la détermination des sources, mais il

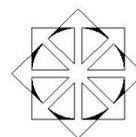
Références

- Fonti and G.A. Marzo, *Mapping the methane on Mars*, *Astron. Astrophys.* 512: p. A51 (2010)
- Formisano et al., *Detection of Methane in the Atmosphere of Mars*, *Science* 306, 1758-1761 (2004)
- Geminale et al., *Mapping methane in Martian atmosphere with PFS-MEX data*, *Planet Space Sci.* 59, 137-148 (2011)
- Gloesener et al., *Le méthane et les clathrates sur Mars*, *Ciel et Terre* 129, 2 (2013)
- Krasnopolsky et al., *Detection of methane in the martian atmosphere : Evidence for life ?*, *Icarus* 172, 537-547 (2004)
- Krasnopolsky, *A sensitive search for methane and ethane on Mars*, *EPSC* 6, 49 (2011)
- Mumma et al., *Strong Release of Methane on Mars in Northern Summer 2003*, *Science* 323, 1041-1045 (2009)
- Webster et al., *Low upper limit to methane abundance on Mars*, *Science* 342, 355-357 (2013)
- Webster et al., *Mars methane detection and variability at Gale Crater*, *Science*, DOI: 10.1126/science.1261713 (2014)

réalisera également la mesure de profils verticaux qui permettront de mieux comprendre les processus dynamiques et de transport. Rappelons que cet instrument est de conception belge, avec, comme institut responsable, l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (<http://mars.aeronomie.be/en/exomars/nomad.htm>). Il a été construit en Belgique en étroite collaboration avec l'industrie de notre pays : OIP de Oudenaarde pour l'optique infrarouge et l'intégration de l'instrument, LambdaX de Nivelles pour le module ultraviolet, Alcatel

Thales Alena-Charleroi pour l'électronique, CSL à Liège pour les tests environnementaux et la réalisation des périscopes d'entrée (en collaboration avec la firme AMOS de Liège également). L'instrument est cependant le résultat d'une vaste collaboration internationale, avec des partenaires en Espagne (conception de l'électronique), au Royaume-Uni (conception du module UV et de son électronique), en Italie, au Canada et aux USA. Gageons que cet instrument aidé des autres instruments embarqués permettra de mieux comprendre

les processus régnant au sein de l'atmosphère martienne.



BIBLIOGRAPHIE

ENCYCLOPEDIA OF THE SOLAR SYSTEM (3rd Ed.)

Tilman SPOHN, Doris BREUER et Torrence V. JOHNSON (Eds.)
Un vol. de xxii + 1312 pages
(22,5 x 28 cm)
Oxford, Elsevier, 2014
Relié : EUR 129,00
ISBN : 978-0-12-415845-0

Comme toute encyclopédie, ce livre se présente comme une véritable somme, c'est-à-dire un ouvrage important qui prétend faire une synthèse des connaissances actuelles dans le domaine très vaste des sciences planétaires.

Les deux éditions précédentes dataient de 1999 et 2007. Dès lors qu'elles nécessitaient assez logiquement une sérieuse mise à jour des connaissances dans différents secteurs ou diverses disciplines du vaste domaine scientifique concerné, les responsables principaux de la présente édition ont fait le choix de répartir les cinquante-sept contributions ou chapitres du présent ouvrage,

écrits au total par un ensemble de plus de cent dix auteurs hautement qualifiés, entre neuf principales subdivisions inégalement fournies autour des thèmes suivants : Le système solaire (3 chapitres) ; Propriétés et processus planétaires fondamentaux (7 ch.) ; Le Soleil (2 ch.) ; Les planètes telluriques (7 ch.) ; la Terre et la Lune en tant que planètes (6 ch.) ; Astéroïdes, Poussières et Comètes (6 ch.) ; Les planètes géantes et leurs satellites (10 ch.) ; Au-delà des planètes (4 ch.) ; Exploration du système solaire (12 ch.).

Plus de sept cents clichés, images numériques, diagrammes et autres types d'illustrations relatifs aux missions actuelles, observatoires, etc. parsèment cet ouvrage, encore que quelques rares auteurs aient cru préférable parfois d'y ajouter des compléments sous forme de documents consultables sur Internet, une option pour le moins discutable vu la finalité première d'un tel

ouvrage dans sa globalité. Un ensemble intéressant de tableaux divers dont un d'une quinzaine de pages reprenant toutes les missions d'exploration du système solaire, un glossaire et un index alphabétique terminent judicieusement l'ouvrage.

Un outil de recherche pour chercheurs confirmés, ou en début de carrière dans l'étude de l'un ou l'autre aspect différent plus particulier des sciences planétaires, qui ne rechignent pas à courir le risque de retrouver quelquefois des exposés peut-être un peu trop spécifiques ou poussés un peu trop loin dans leur présentation. Avant tout, écrit par des spécialistes pour des spécialistes, un ouvrage que le prix, l'objet et la structure incitent à ne retrouver, pour consultation, que dans l'une ou l'autre bibliothèque d'institutions plus ou moins hautement spécialisées.

R. DEJAIFFE