



NOMAD, un spectromètre belge à bord d'ExoMars

LA BELGIQUE PART À NOUVEAU À LA DÉCOUVERTE DE MARS

Sofie Delanoye et
le NOMAD-team

En 2009, l'ESA et la NASA ont décidé de développer une mission commune vers Mars, la mission ExoMars. Fin 2012, la NASA s'est retirée du projet. L'agence spatiale russe Roscosmos a alors repris le flambeau. La mission se compose de deux parties : d'une part le satellite Trace Gas Orbiter (TGO) - qui sera mis en orbite autour de Mars – comprenant le module atterrisseur Schiaparelli et d'autre part un rover. Le satellite a été lancé le 14 mars 2016. Le rover, lui, sera lancé vers la planète rouge en 2020.

ExoMars

'Y a-t-il (eu) de la vie sur Mars?' Il s'agit là de la question à laquelle la mission ExoMars devra répondre. L'étude des gaz dans l'atmosphère martienne et de leurs sources, une étude de l'eau et de l'environnement géochimique seront également au programme. En outre, ExoMars permettra de tester un certain nombre de technologies. Les analyses de Schiaparelli amélioreront notre connaissance d'atterrissage sur la surface de la planète, et ce, en vue de la mission 'Rover' en 2020. Il sera notamment fait usage de nouvelles techniques de prélèvement et d'analyse d'échantillons de la surface. Ceci contribuera à la préparation d'une mission future de retour d'échantillons martiens.

ExoMars 2016 a été lancé à bord d'une fusée russe Proton, tout comme le sera ExoMars 2020 (Figure 1). L'agence spatiale russe Roscosmos fournit également un certain nombre d'instruments à bord de l'orbiteur TGO et des systèmes d'atterrissage pour l'atterrisseur et le rover. La Bel-

gique est particulièrement impliquée dans l'orbiteur. En effet, le seul instrument qui, dès le début fut sélectionné pour cette mission, est NOMAD, un instrument fabriqué en Belgique. La responsable du projet et de l'instrument, la 'Principal Investigator' (PI) est Ann Carine Vandaele, chef du groupe 'Planetary Aeronomy' à l'Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique (IASB). Les autres instruments à bord de l'orbiteur sont le spectromètre ACS et le détecteur de neutrons et de rayonnement FRIEND, tous deux russes, et une caméra à haute résolution CaSSIS, développée en Suisse.

Le premier satellite, TGO, comprenant l'orbiteur et le module atterrisseur, a été lancé le 14 mars 2016. Après 7 mois de voyage, le satellite arrivera à proximité de Mars. Quelques jours avant la mise en orbite de TGO, le module Schiaparelli sera déconnecté et descendra se poser à la surface de Mars. Schiaparelli aura plusieurs instruments scientifiques à son bord, mais compte tenu de la durée de vie limitée des batteries, la mission scientifique sera courte. Dès lors, le satellite entrera dans une phase d'aérofreinage, pendant laquelle il sera ralenti progressivement par l'atmosphère jusqu'à ce que l'orbite désirée soit atteinte. Cette phase durera jusqu'à la mi-2017. C'est seulement à ce moment-là que pourra commencer la mission scientifique en tant que telle. Elle durera au moins une année martienne (= 687 jours terrestres). Lorsque le deuxième satellite aura libéré le rover à la surface de Mars, au cours de l'année 2020, TGO servira principalement de relais de données entre le rover et la Terre. Cette activité réduira le temps disponible pour les observations des instruments à son bord.

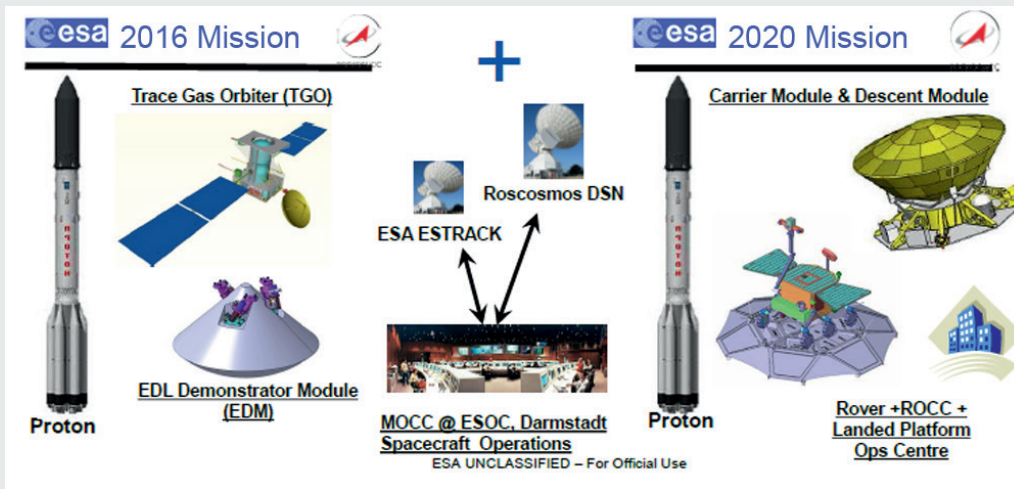


Figure 1: Aperçu des deux volets de la mission ExoMars : en 2016 avec l'orbiteur Trace Gas Orbiter et l'atterrisseur Schiaparelli (à gauche) et en 2020 le rover (à droite).

NOMAD

NOMAD signifie 'Nadir and Occultation for MARS Discovery'. L'appareil est composé de trois canaux : 2 canaux infrarouges, SO et LNO et un canal UV-visible, UVIS (Figure 2). Le canal SO ('Solar Occultation') est une copie de l'instrument SOIR qui était à bord de la mission de l'ESA, Venus Express (2006-2014). LNO ('Limb, Nadir and Occultation') est une version améliorée de ce même instrument. UVIS ('UV-visible') est un instrument britannique, conçu à l'origine pour faire partie de l'ensemble instrumental Humboldt à bord de Schiaparelli - Humboldt a été annulé en 2009.

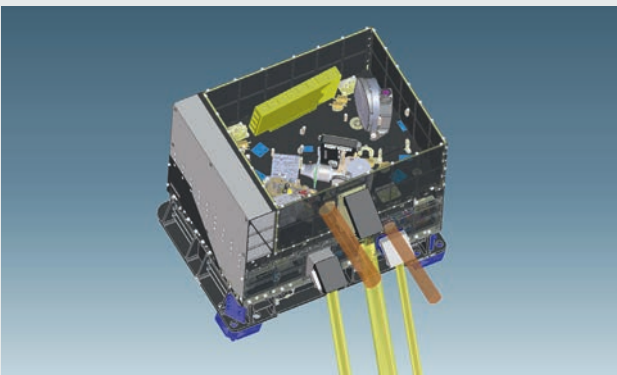
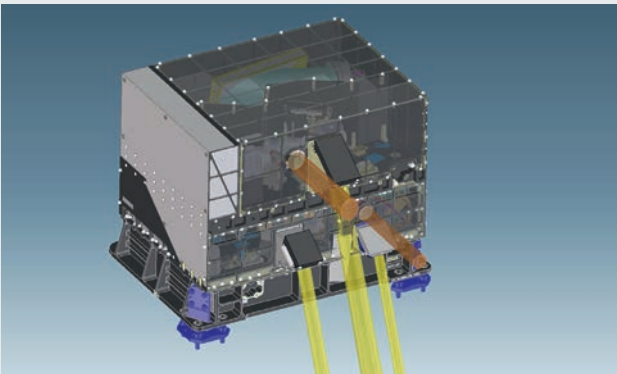


Figure 2: Schémas de l'instrument NOMAD, créés avec le software CAD. Les cylindres jaunes indiquent les directions de visée en occultation solaire et ceux en orange au nadir. Au-dessus: NOMAD alors qu'il est fermé. Au-dessous: une vue sous le 'couvercle'.

Techniques de mesure

Les différentes techniques de mesure sont illustrées à la Figure 3. La lumière du Soleil sert de source aux trois canaux afin d'analyser la composition de l'atmosphère martienne. Le canal SO utilise la lumière du Soleil située dans l'infrarouge (2.3 - 4.3 microns) et ne peut effectuer que des mesures en occultation solaire. Au lever ou au coucher du Soleil, l'instrument mesure la lumière du Soleil, après son passage à travers l'atmosphère de Mars, et compare le spectre ainsi mesuré avec le spectre du Soleil enregistré en dehors de l'atmosphère. Comme chaque molécule absorbe à des longueurs d'onde différentes et déterminées, l'analyse du spectre permet de déduire quelles molécules étaient sur le chemin du rayon lumineux et en quelle quantité.

Le canal LNO est également sensible dans le domaine de l'infrarouge (2.3 - 3.8 microns). Bien qu'il puisse aussi effectuer des mesures en occultation solaire, et au limbe, il est en fait conçu pour les mesures au nadir. Lors de mesures au nadir, l'instrument pointe vers la surface de la planète et mesure la lumière du Soleil réfléchi par la surface ou diffusée par l'atmosphère. Le spectre obtenu est alors lui aussi comparé avec celui du Soleil. Comme la lumière mesurée dans cette géométrie est beaucoup plus faible que celle obtenue lors de mesures en occultation solaire, l'instrument doit être adapté afin d'améliorer sa sensibilité et ainsi obtenir un signal suffisant. Initialement, il avait été décidé de refroidir une partie du canal LNO à -100°C grâce à un radiateur spécialement conçu à cette fin. Comme le rayonnement infrarouge est un rayonnement thermique, la sensibilité de l'appareil peut être augmentée en le refroidissant. Cela réduit le rayonnement que produit l'instrument lui-même, dit bruit de fond, et permet de mesurer des signaux plus faibles. Cependant, lors des missions spatiales, un satellite ne pouvant transporter qu'une certaine masse, chaque instrument se voit adresser une limite de masse. Malheureusement, le poids du radiateur de NOMAD était trop élevé et il a donc été décidé de ne pas l'intégrer. D'autres modifications telles que des éléments optiques plus grands ou de plus longs temps de mesure ont été appliquées afin d'obtenir un signal suffisant.

UVIS fonctionne aussi bien en occultation solaire, en mesures au limbe et au nadir. Ce troisième canal est sensible aux longueurs d'onde de la gamme spectrale ultraviolette et visible (200 - 650 nm).

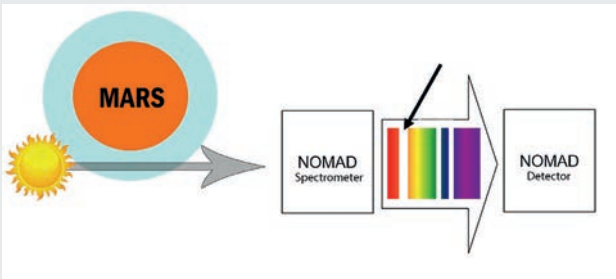
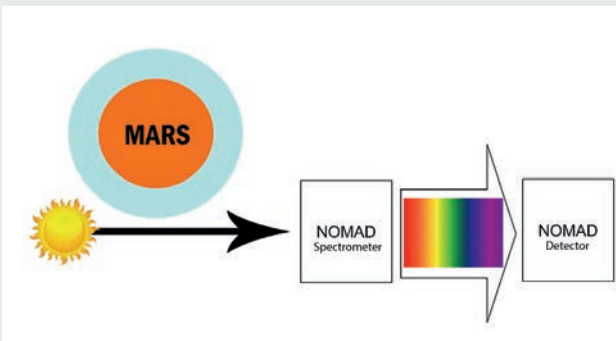
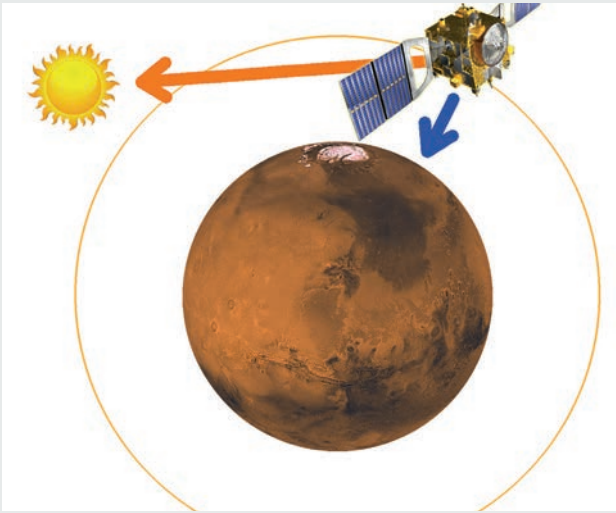


Figure 3: En haut: Les différentes géométries de visée de NOMAD. La flèche orange indique une visée en occultation solaire, la flèche bleue une visée au nadir. En bas: Le principe de fonctionnement d'une occultation solaire. La lumière du Soleil est mesurée sans passage à travers l'atmosphère puis mesurée alors qu'elle traverse l'atmosphère. En comparant les deux spectres, la composition de l'atmosphère peut être déduite.

Principe

Les canaux SO et LNO sont construits de la même manière. Le schéma optique est présenté à la Figure 4. La lumière pénètre à travers l'ouverture et est ensuite menée via un certain nombre de miroirs (1) à l'entrée optique du 'Acousto-Optical Tunable Filter' (AOTF) (3). Cette entrée optique agit comme un télescope en permettant à la lumière incidente d'arriver sur le filtre AOTF avec le bon angle. Le champ de vision est limité afin de réduire la diffusion et d'autres effets perturbateurs grâce à l'utilisation d'un diaphragme. La lumière traverse ensuite l'AOTF (4). Un AOTF est un filtre acousto-optique accordable, et se

compose d'un cristal auquel un signal radiofréquence est appliqué. En fonction de ce signal, le cristal va transmettre différents domaines de longueur d'onde. Ceci permet de choisir quelle partie du spectre on enregistre. Via la sortie optique de l'AOTF (5) et une fente (une ouverture de forme et de dimensions bien définies) (6), la lumière parvient à un miroir parabolique (7). Le miroir parabolique focalise la lumière sur un réseau (8), qui décompose la plage de longueurs d'onde sélectionnée en ses longueurs d'onde individuelles. Par l'intermédiaire du même miroir parabolique (9) et de l'optique de détection (11), la lumière arrive alors sur le détecteur (12). Les miroirs indiqués en (2) et (10) sont utilisés pour diriger la lumière dans la direction souhaitée.



Figure 4: Principe optique des canaux SO et LNO (© OIP Sensor Systems). Les explications se trouvent dans le texte.

UVIS fonctionne selon un principe très différent présenté à la Figure 5. L'appareil comporte deux télescopes : un télescope en visée nadir et un télescope d'occultation solaire. Via des fibres optiques, la lumière des deux télescopes est envoyée à un sélecteur, où est choisi quel signal va être mesuré. Ce dernier est transmis au spectromètre dans lequel il est divisé en différentes longueurs d'onde qui sont ensuite mesurées par le détecteur.

Finalement, la Figure 6 montre l'instrument NOMAD. La 'couverture' noire dans laquelle se trouve l'instrument est du MLI ('Multi-Layer Insulation'). Il s'agit d'un isolant thermique qui protégera l'instrument du froid de l'espace interplanétaire.

Objectifs scientifiques

NOMAD étudiera l'atmosphère de Mars. Il nous permettra d'en apprendre beaucoup sur la planète. L'un des gaz les plus recherchés est le méthane. Ce gaz a déjà été détecté plusieurs fois, aussi bien par des observateurs depuis la

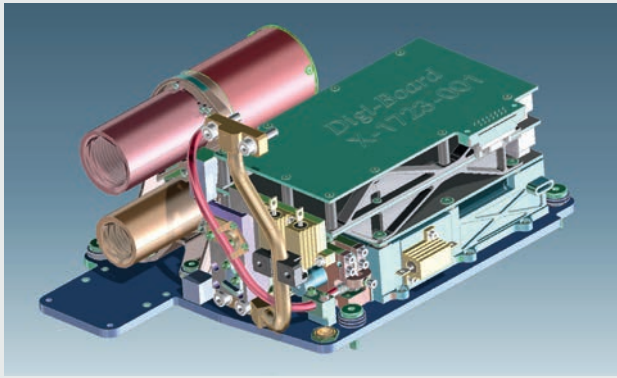


Figure 5: Principe du canal UVIS, avec ses deux télescopes: visée nadir (cylindre rouge), visée occultation solaire (cylindre orange), les fibres optiques (câble rouge), le spectromètre (boîte bleue) et l'électronique (plateau supérieur, en vert).

Terre que par des instruments spatiaux sur Mars ou en orbite autour de celle-ci. Sur Terre, 90% du méthane existant est d'origine biologique, ce qui fait de ce gaz un indicateur important de l'existence de la vie. Le méthane ne peut pas se former de lui-même dans l'atmosphère et est même rapidement détruit sous l'influence de la lumière solaire. Le fait de le mesurer indique qu'il existe des sources de méthane. Ces sources pourraient être d'origine biologique mais aussi liées à de l'activité géologique ou du volcanisme. Il est également possible qu'il y ait des réserves de méthane stockées sous la surface de Mars qui seraient libérées lentement dans l'atmosphère. Dans ce cas, la question de l'origine de ces réserves resterait sans réponse. NOMAD est spécialement conçu pour détecter le méthane. Le canal SO permettra de rechercher des traces de méthane dans l'atmosphère et le canal LNO nous donnera l'occasion de parcourir la surface de la planète afin de trouver d'éventuelles sources.

Mais NOMAD ne se limite pas à la mesure de méthane. On suppose généralement que Mars est une planète morte, ce qui signifie qu'il n'y a pas de vie, mais aussi aucune activité géophysique, telle que l'activité hydrothermale ou le volcanisme. Mais est-ce le cas? La composition de l'atmosphère peut nous en apprendre plus à ce sujet.

En étudiant les gaz dans les couches supérieures de l'atmosphère, nous pouvons obtenir des informations sur les processus d'échappement, moyens par lesquels les molécules quittent l'atmosphère pour l'espace interplanétaire. Cela peut nous donner des informations sur l'évolution de l'atmosphère, passée, mais aussi future. NOMAD étudiera également comment l'atmosphère martienne évolue en fonction du temps: jour/nuit, saisons, etc.

Savoir d'où viennent certaines molécules et comment elles réagissent dans l'atmosphère n'est pas intéressant seulement pour le méthane mais pour toute une série de molécules. Le canal LNO, grâce aux mesures au nadir, peut fournir des informations sur les endroits à la surface où certaines molécules sont libérées. Cela apporte des informations quant au choix de sites d'atterrissage lors de missions futures. Le canal SO peut, lui, apporter des informations sur la composition verticale de l'atmosphère et sur les réactions chimiques qui y ont lieu.

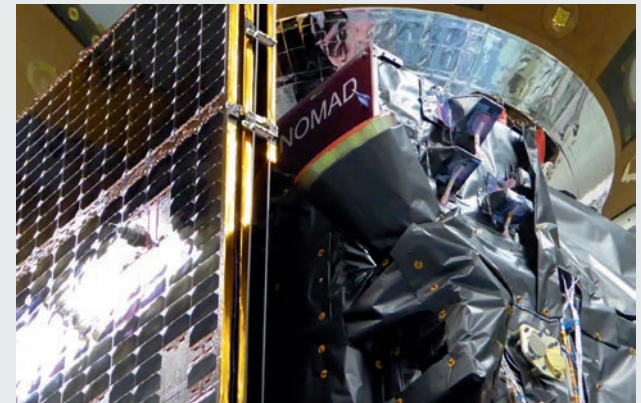
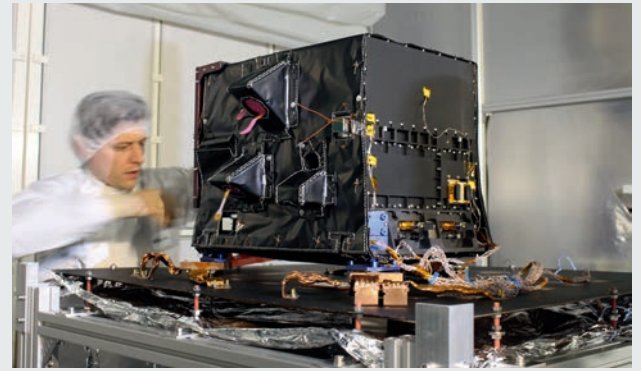


Figure 6: Au-dessus: Photo de NOMAD. En-dessous: NOMAD intégré sur le satellite TGO.

Le canal UVIS mesurant dans un autre domaine de longueurs d'onde permettra, quant à lui, de mesurer d'autres molécules, tel que l'ozone.

La combinaison des 3 canaux fait de NOMAD un instrument polyvalent qui, nous l'espérons, apportera des réponses aux nombreuses questions ouvertes concernant Mars. Si NOMAD est autant couronné de succès que ne l'a été son prédécesseur SOIR à bord de Venus Express, nous nous attendons à obtenir une grande quantité de données de qualité, assurant ainsi de fascinantes années de recherche à venir.

L'équipe NOMAD de l'IASB aimerait remercier Belpo et PRODEX. Sans leur aide et leur soutien financier, la réalisation de NOMAD n'aurait pas été possible. Nous tenons également à remercier tous les partenaires industriels et étrangers pour leur contribution et, en particulier, OIP pour la gestion générale, les optiques de LNO et SO et l'intégration de l'instrument, Lambda-X et OU pour le développement de UVIS, IAA pour l'électronique de haut niveau, Thales Alenia Space Belgium pour la production de l'électronique, IDR pour les analyses thermique et structurale et le CSL pour les périscopes et les tests environnementaux.

L'auteur

Sofie Delanoye et le NOMAD-team. Sofie Delanoye a été document manager et responsable communication du projet NOMAD à l'Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique.