

Mesures de l'atmosphère martienne sous visibilité réduite

Séverine Robert, Arianna Piccialli, Yannick Willame et Ian R. Thomas



Figure 1 : Photographies de Mars prises avant (à gauche) et pendant (à droite) la tempête de poussières globale de 2001. © NASA/JPL-Caltech/Hubble Space Telescope



Figure 2 : Une tornade de poussière en action photographiée par la caméra High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE) à bord du Mars Reconnaissance Orbiter (NASA). © NASA/JPL-Caltech/University of Arizona

NOMAD, le spectromètre infrarouge développé à l'Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique (BIRA-IASB) s'est lancé dans la phase d'activités scientifiques à un moment-clé ! Une tempête de poussière globale sévit sur Mars depuis la fin mai 2018. La nouvelle a vite fait le tour de la communauté martienne. Une tempête de poussière était en formation dans l'atmosphère martienne avec semble-t-il une nette tendance à devenir globale et en effet le 20 juin 2018, Mars était entièrement recouverte de poussière. En moins d'une semaine, la poussière ne couvrait non plus un quart de la planète mais la globalité. Un effet confirmé par les instruments à la surface mais aussi par les satellites en orbite autour de Mars.

D'après les analyses préliminaires, cette tempête de poussière de 2018 n'est pas aussi remarquable que celle de 2007 ou de 2001 dont une image est montrée à la Figure 1. Durant ce type d'événement, la planète est complètement encerclée d'une épaisse brume de poussière de laquelle dépassent à peine les pourtant très élevés volcans martiens.

Le cycle des poussières sur Mars

Les poussières sont endémiques sur Mars et lui confèrent sa couleur rouille. La présence de poussières minérales

d'environ un micromètre de diamètre donne une teinte rose, orangé au ciel martien. Des tempêtes de poussière se produisent sur Mars de façon quotidienne et notamment aux abords des calottes polaires saisonnières où le contraste de température engendre de puissantes 'brises thermiques' qui malgré la faible pression à la surface de Mars, permettent à la poussière de se soulever et d'être transportée dans l'atmosphère. Cette poussière est continuellement injectée dans l'atmosphère par des tourbillons dont un exemple est montré à la Figure 2. Eventuellement, après un temps considérable, elle se déposera sur la surface par sédimentation.

La poussière en suspension dans l'air martien influence fortement le climat de la planète car les particules absorbent le rayonnement solaire, ce qui, durant la journée, réchauffe l'atmosphère en altitude et refroidit la surface. De nuit, au contraire, leur émission infrarouge réchauffe la surface.

Comme le révèlent les observations de la poussière, l'année se divise en deux périodes distinctes : une saison 'claire' durant le printemps et l'été de l'hémisphère nord et une 'saison des poussières' durant l'automne et l'hiver. Cette dernière correspond à la période pendant laquelle Mars

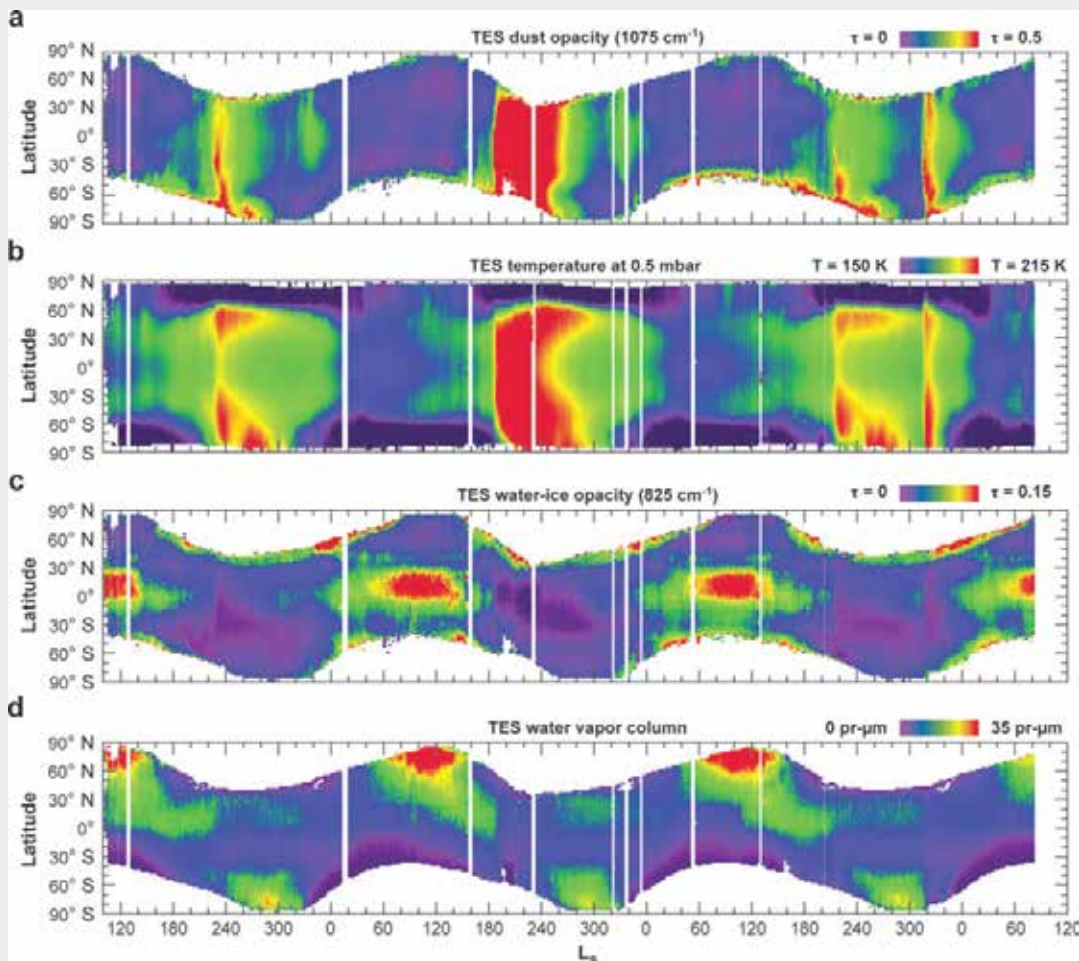


Figure 3: Cartes obtenues par l'instrument TES à bord de MGS qui montrent les variations saisonnières et latitudinales de a) l'opacité due à la poussière (normalisée à 6.1 mbar pour éliminer les effets topographiques) ; b) la température à 0.5 mbar (~25km) ; c) la profondeur optique liée à la glace d'eau et d) la quantité de vapeur d'eau. Les cartes sont données pour 3 années martiennes, de MY24 à MY27. Crédit: Smith et al. (2008). *L'unité en abscisse est la longitude solaire, LS. Cette grandeur représente l'angle parcouru sur l'orbite depuis l'équinoxe de printemps dans l'hémisphère nord ($L_s = 0^\circ$). Cela sert à spécifier les dates et les saisons de l'année martienne.

est plus proche du Soleil, le périhélie. Lors du passage au périhélie, l'atmosphère est chargée en poussière et chaque année ont lieu des tempêtes régionales à cette période. Les tempêtes globales sont quant à elles bien plus rares. De la même façon, lors de la période de l'aphélie, la quantité de poussière dans l'atmosphère est plus faible et confinée aux basses altitudes (en dessous de 20 km). Les tempêtes de poussière sont rares et éventuellement un phénomène local peut se produire aux limites des calottes polaires. La corrélation entre la quantité de poussière, la température et la quantité d'eau est étudiée par plusieurs instruments en orbite autour de Mars. La Figure 3, par exemple, montre les cartes obtenues par l'instrument TES à bord de Mars Global Surveyor (MGS) durant trois années martiennes. On peut constater à quel point le phénomène se reproduit d'année en année.

En général, les tempêtes de poussière conservent un caractère local, parfois régional durant la saison des tempêtes. Elles ne se transforment que rarement en tempêtes globales. La première tempête de poussières globale observée eut lieu en 1956. Les suivantes eurent lieu en 1971, 1973, 1977, 1982, 2001, 2007 et 2018. Cette dernière ne semble pas

être d'une intensité aussi importante que celle de 2007 ou celles de 1971 et 2001 pendant lesquelles uniquement les monts les plus élevés restaient visibles.

Les processus transformant une tempête de locale en régionale et de régionale en globale sont encore mal compris. Et le phénomène ne se produisant pas si souvent, tous les instruments, en orbite ou sur Terre, se sont tournés vers Mars pour enregistrer un grand nombre de mesures.

Mais quelle sorte de mesures est possible dans une telle situation ? L'impact des poussières dans l'atmosphère se voit dans différentes gammes de longueur d'onde. Dans le visible, bien sûr, comme sur la Figure 1. On constate que ces longueurs d'onde permettent une vision globale du phénomène à son altitude la plus élevée mais nous pouvons difficilement obtenir des images de ce qu'il se passe au sein même de la tempête ou à la surface de la planète. Il nous est donc fort utile d'obtenir des mesures en infrarouge et en ultraviolet. Et c'est là une des forces de NOMAD, l'instrument belge à bord d'ExoMars Trace Gas Orbiter (EMTGO).

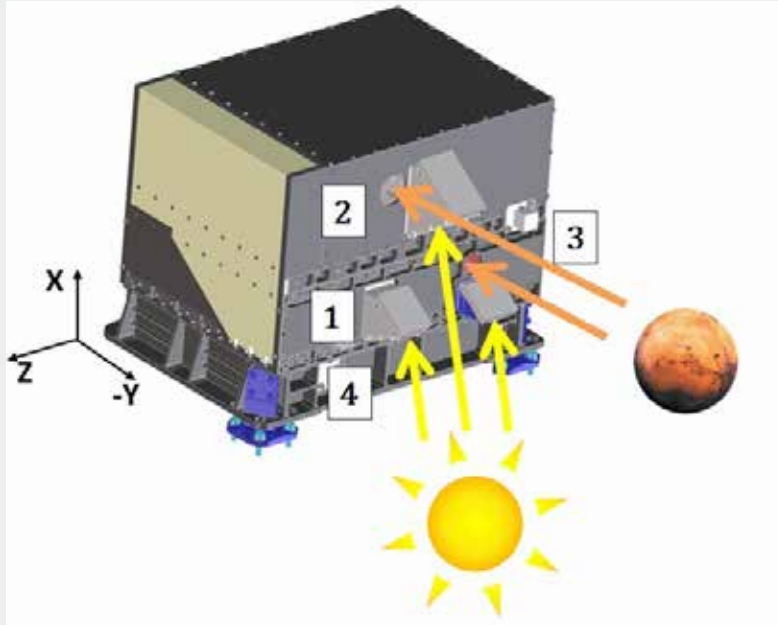


Figure 4 : La suite d'instruments NOMAD composée de SO (1), LNO (2) et UVIS (3). L'électronique est situé en-dessous de NOMAD (4). Les lignes de visée des différents instruments sont indiquées: en jaune lorsque l'instrument pointe vers le Soleil ; en orange en visée nadir (vers la planète).

NOMAD, à bord d'ExoMars Trace Gas Orbiter

NOMAD est une suite de trois instruments et est illustré à la Figure 4. Inspirés par l'instrument SOIR qui orbita autour de Vénus de 2006 à 2014 à bord de Venus Express (ESA), les instruments SO et LNO opèrent en infrarouge dans différentes géométries d'observation. SO prend des mesures en occultation solaire et est une copie de SOIR alors que LNO en est une version améliorée, mieux adaptée aux sources lumineuses de faible intensité. Cet ajustement était nécessaire afin d'observer l'atmosphère de Mars en visée nadir, c'est-à-dire en observant directement la lumière du Soleil réfléctée par la surface et l'atmosphère de la planète. La modification de la conception de SOIR inclut une fente d'entrée plus large, afin d'assurer qu'une quantité suffisante de lumière parvienne jusqu'à l'optique de l'appareil et un nouveau filtre actif plus performant permettant de sélectionner la bande passante de l'instrument (acousto-optical tunable filter).

Le troisième instrument est UVIS. Sa conception est basée sur l'instrument UVIS qui faisait partie de la charge utile du Lander d'ExoMars et qui avait été construit par l'Open University au Royaume-Uni. Ce canal mesure en mode d'occultation solaire tant qu'en mode nadir dans l'ultraviolet et le visible.

L'impact de la poussière sur les mesures devra être pris en compte pour chaque géométrie d'observation :

- En occultation solaire, on sonde l'atmosphère à différentes altitudes. Cela permet d'obtenir un profil vertical de la composition atmosphérique depuis le sommet de l'atmosphère jusque pratiquement la surface de la planète. La poussière présente dans l'atmosphère va induire une décroissance du signal jusqu'à ce que ce dernier soit nul. La poussière devenant opaque à basse altitude et ne permettant plus au rayonnement solaire de parvenir à l'instrument.
- En nadir, deux processus radiatifs devront être pris en considération : les aérosols ou grains de poussière vont aussi bien absorber que diffuser les rayonnements ultraviolets et infrarouges. Les mesures nadir permettent uniquement de déterminer la colonne totale d'un gaz entre l'instrument et la surface réfléchissante, mais permettent par contre de cartographier des variations sur toute la surface de la planète, le long de la trace au sol de l'orbite. De cette façon, il est possible d'observer des différences entre le pôle et l'équateur ou au cours de la mission, ainsi que des différences en fonction des saisons martiennes.

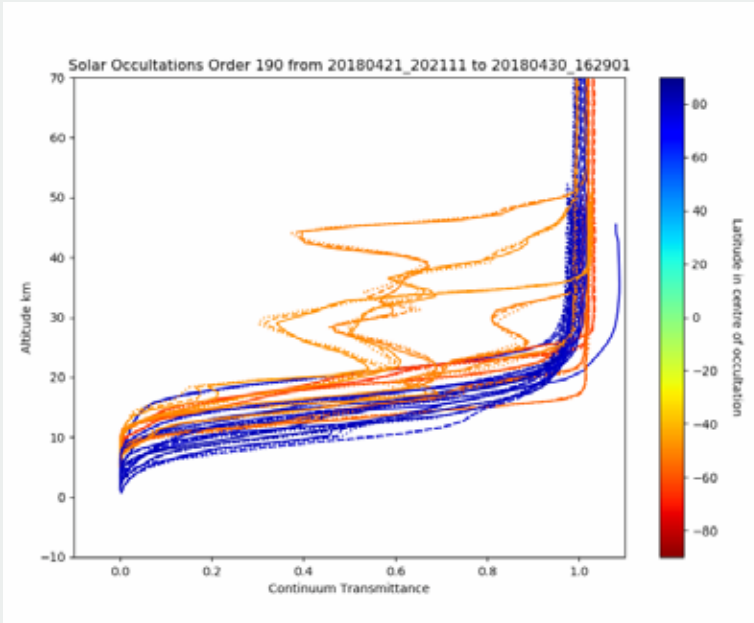


Figure 5: Transmittances mesurées par SO entre le 21 et le 30 avril 2018.

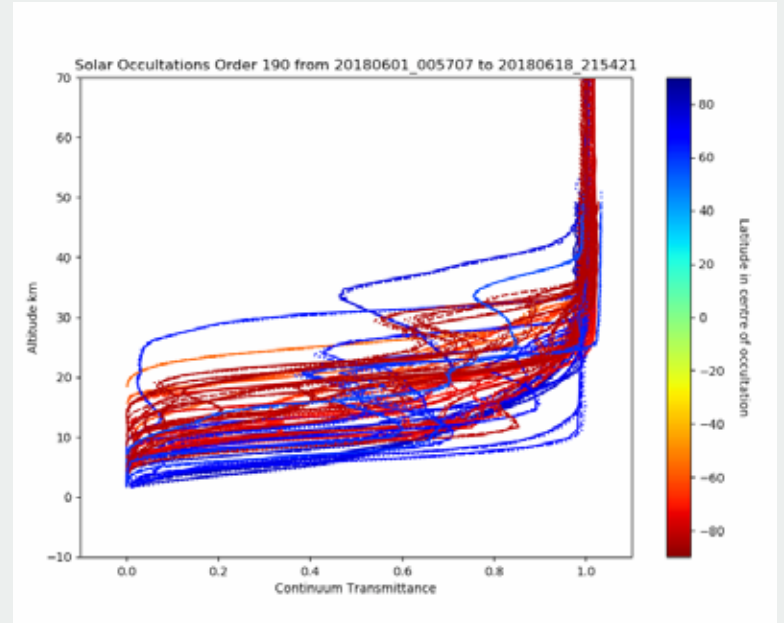


Figure 6: Transmittances mesurées par SO entre le 1 et le 18 juin 2018.

Les caractéristiques optiques des particules doivent être estimées afin de modéliser l'interaction entre la poussière et la radiation solaire. Un modèle physique des particules est développé, tenant compte de la taille et de la forme des particules. Absorption et diffusion sont incluses dans les équations du modèle de transfert radiatif qui permet de déduire la profondeur optique associée aux particules en suspension. Celle-ci sera proportionnelle au nombre de particules de poussière dans l'atmosphère.

Premières mesures de NOMAD

Les mesures de NOMAD, aussi bien dans l'infrarouge que l'ultraviolet ont dès lors été analysées pour évaluer l'effet de cette poussière sur les résultats de l'instrument. Quelques mesures du mois d'avril et du mois de juin sont présentées aux Figure 5-Figure 6. Ces figures montrent les transmittances mesurées par l'instrument SO entre le 21 et le 30 avril 2018 sur la Figure 5 et entre le 1 et le 18 juin 2018 sur la Figure 6. Les couleurs correspondent aux différentes latitudes. Comparons les courbes bleues des deux figures, qui représentent donc le signal mesuré aux hautes latitudes. En avril, sur la Figure 5, le signal est de 1.0 (transmittance maximum) jusque vers 25 km, altitude à partir de laquelle il décroît petit à petit jusqu'à atteindre (transmittance minimum – aucun signal ne parvient à l'instrument) vers 10 km d'altitude.

Les courbes bleues de la Figure 6 présentent un profil fort différent. Les mesures sont plus variables et le signal parvenant à l'instrument ne décroît pas petit à petit comme c'était le cas sur la Figure 5. De telles transmittances signifient qu'il y a différentes couches dans l'atmosphère et que chacune absorbe le signal différemment. Une telle signature est visible aux moyennes latitudes (courbes oranges) sur la Figure 5, ce qui est attendu et visible également sur la Figure 6. Le fait que cet absorbeur (poussières ou nuages) soit présent dans l'atmosphère aux hautes latitudes est significatif d'un phénomène particulier.

L'analyse quantitative des données récoltées par NOMAD est actuellement en cours.

Conclusion

Les observations de l'atmosphère martienne à la fin du mois de juillet 2018 montraient que la tempête globale était entrée dans la phase de décroissance, avec moins de poussière soulevée que déposée à la surface. Cet événement fera l'objet de diverses études. Déjà des sessions plénières sont organisées lors des conférences de cet automne afin de discuter du phénomène, de le comparer aux précédents. Cette démarche est effectuée pour mieux comprendre l'environnement martien, afin d'être en mesure un jour, de protéger les participants des futures missions, qu'ils soient humains ou non, de tels phénomènes de grande ampleur.