

Metingen van de atmosfeer van Mars bij beperkte zichtbaarheid

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



Figuur 1: Foto's van Mars genomen vóór (links) en tijdens (rechts) de stofstorm van 2001.



Figuur 2: Een stofwervelwind in actie gefotografeerd door de High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE) camera aan boord van de Mars Reconnaissance Orbiter (NASA). © NASA/JPL-Caltech/University of Arizona

NOMAD, de infraroodspectrometer ontwikkeld door het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA), is op een cruciaal moment begonnen aan de wetenschappelijke activiteitenfase! Sinds eind mei 2018 woedt er een globale stofstorm op Mars. Het nieuws verspreidde zich snel binnen de Marsgemeenschap. Er vormde zich een stofstorm in de atmosfeer van Mars met een duidelijke neiging om zich globaal te ontwikkelen en inderdaad, op 20 juni 2018 was Mars volledig omhuld met stof. In minder dan een week bedekte het stof niet langer een kwart van de planeet, maar het geheel. Een effect bevestigd door de instrumenten aan de oppervlakte, maar ook door satellieten in een baan rond Mars.

Voorlopige analyses wijzen uit dat deze stofstorm van 2018 niet zo dramatisch is als die van 2007 of 2001, waarvan een afbeelding is weergegeven in Figuur 1. Tijdens dit soort evenementen wordt de planeet volledig omringd door een dikke stoflaag, waar de nochtans zeer hoge Marsvulkanen nauwelijks bovenuit steken.

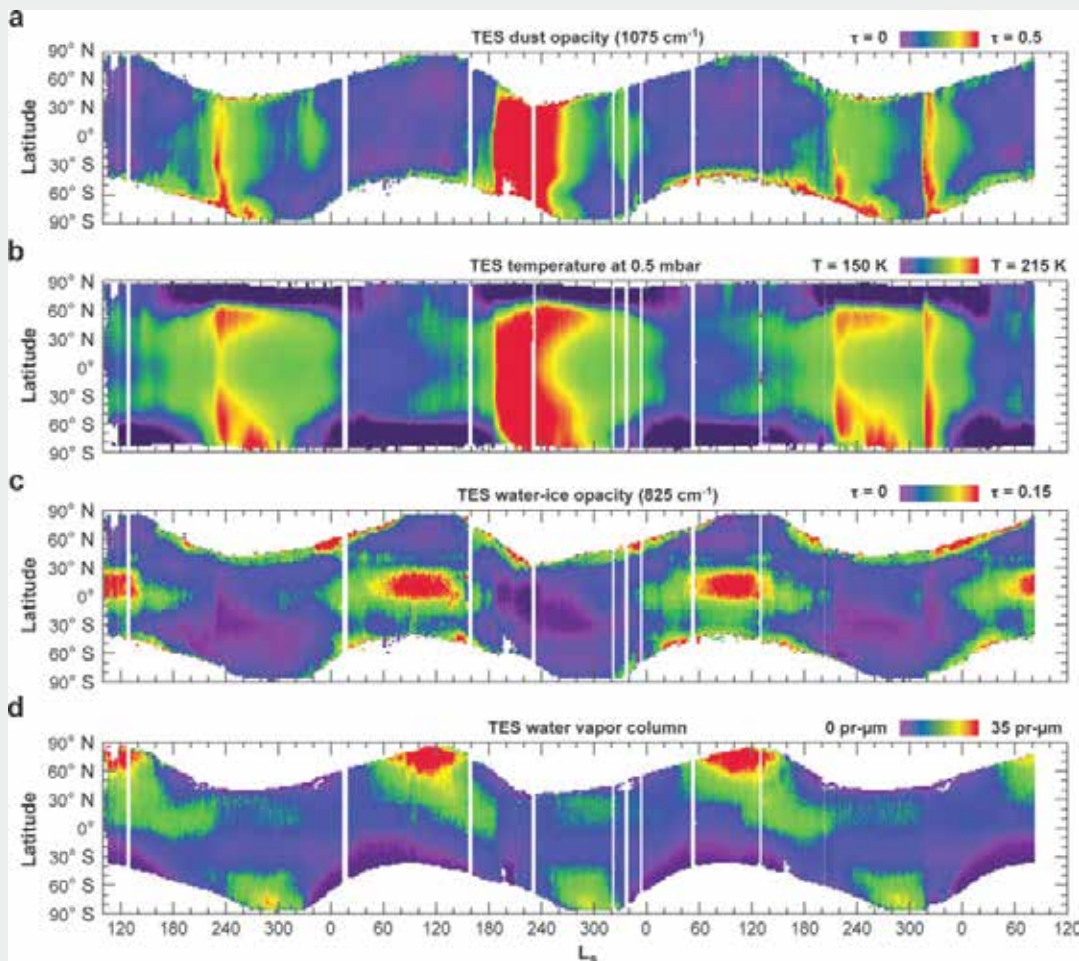
De stofcyclus op Mars

Het stof op Mars is endemisch en geeft de planeet zijn roestkleur. De roos-oranje tint van de atmosfeer wordt

veroorzaakt door de aanwezigheid van mineraalstof met ongeveer een micrometer in diameter. Stofstormen komen dagelijks voor op Mars, met name rond de seizoensgebonden poolkappen waar het temperatuurcontrast een krachtige 'thermische bries' genereert die, ondanks de lage druk aan het oppervlak, het stof toelaat om op te stijgen en in de atmosfeer meegevoerd te worden. Zo wordt continu stof in de atmosfeer geïnjecteerd door wervelwinden, waarvan een voorbeeld wordt getoond in Figuur 2. Tenslotte zal het na aanzienlijke tijd bezinken op het oppervlak door sedimentatie.

De stof die in de atmosfeer van de planeet wordt meegevoerd, oefent een grote invloed uit op het klimaat doordat de deeltjes zonnestraling absorberen, wat ervoor zorgt dat de hogere lagen van de atmosfeer overdag opwarmen en het oppervlak van Mars afkoelt. 's Nachts daarentegen verwarmt de infrarood-emissie van de deeltjes het oppervlak.

Zoals blijkt uit observaties van het stof wordt het jaar verdeeld in twee verschillende periodes: een 'helder' seizoen tijdens de lente en zomer op het noordelijk halfrond, en een 'stof'-seizoen tijdens de herfst en winter. Dit laatste komt overeen met de periode waarin Mars dichterbij de



Figuur 3: Kaarten verkregen door het TES-instrument aan boord van MGS tonen de seizoens- en breedtegraadsvariaties van a) de opaciteit veroorzaakt door het stof (genormaliseerd op 6.1 mbar om topografische effecten uit te sluiten); b) de temperatuur bij 0.5 mbar (~25km); c) de optische diepte gelinkt aan het waterijs en d) de hoeveelheid waterdamp. De kaarten worden gegeven voor 3 Marsjaren, van MY24 tot MY27. Credit: Smith et al. (2008). De eenheid op de x-as is de lengtegraad van de zon, L_s . Deze grootte vertegenwoordigt de hoek die in de baan is afgelegd vanaf de lente-equinox op het noordelijk halfrond ($L_s = 0^\circ$). Dit wordt gebruikt om de data en seizoenen van het Marsjaar te bepalen.

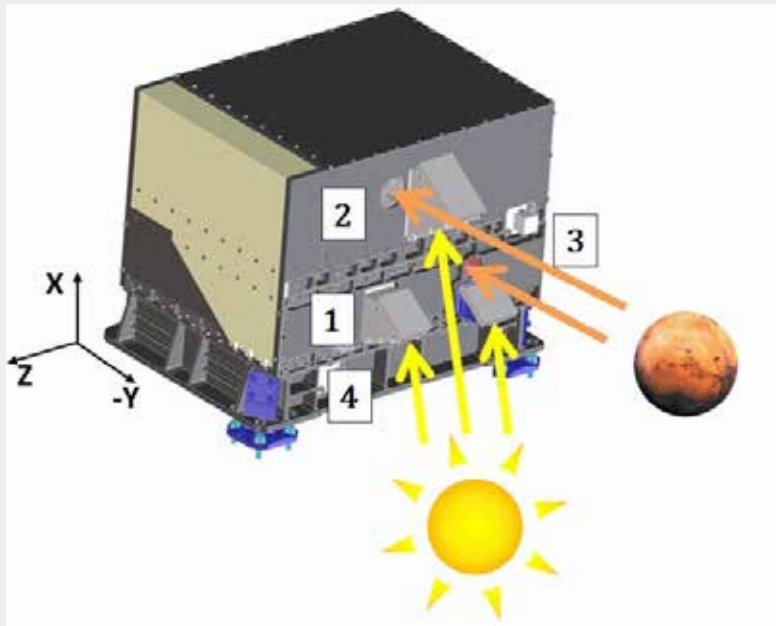
zon staat, het perihelium. Tijdens deze periheliumperiode is de atmosfeer geladen met stofdeeltjes en woeden jaarlijks regionale stormen. Globale stormen zijn echter veel zeldzamer. Op dezelfde wijze als met het perihelium is er tijdens de periode van aphelium, wanneer Mars verder staat van de zon, minder stof aanwezig in de lucht en is het beperkt tot lagere hoogtes (minder dan 20 km). Stofstormen zijn op dat moment zeldzaam, hoewel lokale fenomenen mogelijk kunnen optreden aan de randen van de poolkappen. Verschillende instrumenten die momenteel in een baan rond Mars draaien bestuderen de correlatie tussen de hoeveelheid stof, de temperatuur en de hoeveelheid water. Figuur 3 toont als voorbeeld de kaarten verkregen door het TES-instrument aan boord van Mars Global Surveyor (MGS) gedurende drie Marsjaren. Aan de hand van deze data is de jaarlijkse regelmaat van het fenomeen duidelijk zichtbaar.

Over het algemeen behouden stofstormen een lokaal, soms regionaal karakter tijdens het stormseizoen. Ze ontwikkelen zich zelden tot globale stormen. De eerste globale stofstorm die men heeft kunnen waarnemen, vond plaats in 1956. De volgende vonden plaats in 1971, 1973, 1977, 1982,

2001, 2007 en 2018. Dit laatste lijkt niet zo intens te zijn als dat van 2007, of die van 1971 en 2001 waarbij enkel de hoogste bergen zichtbaar bleven.

De processen die een lokale storm omvormen tot een regionale en vervolgens globale storm zijn nog steeds weinig gekend. Aangezien het fenomeen niet zo vaak voorkomt, hebben alle instrumenten in de ruimte of op het aardoppervlak zich naar Mars gericht om een groot aantal metingen te registreren.

Maar welk type metingen zijn er mogelijk in een dergelijke situatie? De invloed van het stof in de atmosfeer wordt in verschillende golflengtes waargenomen. In zichtbaar licht natuurlijk, zoals Figuur 1, waaruit blijkt dat deze golflengten een globaal zicht geven op het fenomeen in de hoogste lagen van de atmosfeer. Het is echter moeilijk beelden te verkrijgen van wat er zich binnen in de storm of op het oppervlak van de planeet afspeelt. Het is om die reden zeer handig om infrarood- en ultraviolette metingen uit te voeren. En dat is net één van de sterke punten van NOMAD, het Belgische instrument aan boord van ExoMars Trace Gas Orbiter (EMTGO).



Figuur 4: De reeks NOMAD-instrumenten bestaat uit SO (1), LNO (2) en UVIS (3). De elektronica bevindt zich onder NOMAD (4). De kijk-richtingen van de verschillende instrumenten zijn aangegeven: in het geel wanneer het instrument naar de zon wijst; in het oranje wanneer het naar het nadir gericht is (naar de planeet).

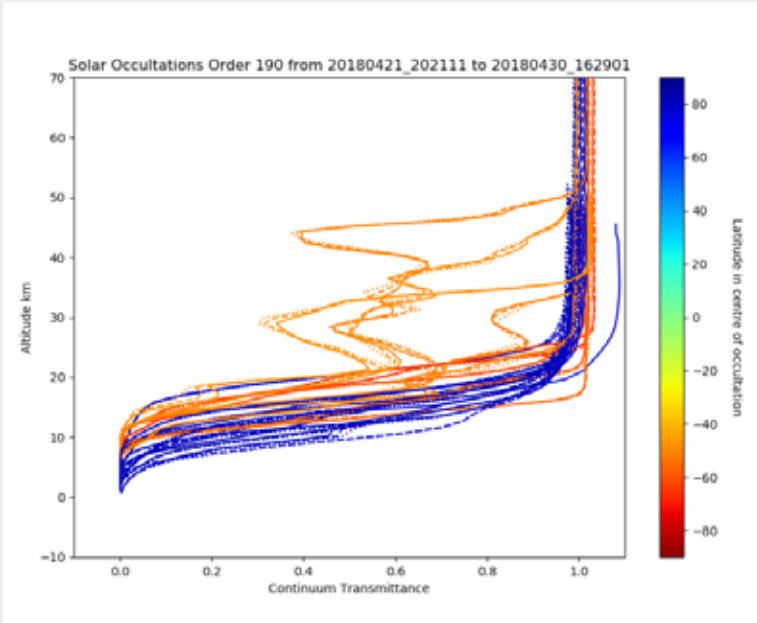
NOMAD, aan boord van ExoMars Trace Gas Orbiter

NOMAD bestaat uit een reeks van drie instrumenten, geïllustreerd in Figuur 4. Geïnspireerd door het SOIR-instrument, dat in een baan rond Venus draaide van 2006 tot 2014 aan boord van Venus Express (ESA), werken de SO- en LNO-instrumenten in het infrarood in verschillende waarnemingsgeometrieën. SO voert metingen uit in zonne-occultatie en is een kopie van SOIR terwijl LNO een verbeterde versie ervan is, beter aangepast aan lichtbronnen met lage intensiteit. Deze aanpassing was nodig om de atmosfeer van Mars te kunnen observeren in nadir-modus, dit wil zeggen door rechtstreeks het zonlicht te observeren dat door het oppervlak en de atmosfeer van de planeet wordt weerkaatst. Het aangepaste SOIR-ontwerp bevat een breder ingangsslot om ervoor te zorgen dat voldoende licht de optica van het apparaat bereikt, en een nieuwe, efficiëntere actieve filter om de band die door het instrument loopt te selecteren (acousto-optical tunable filter).

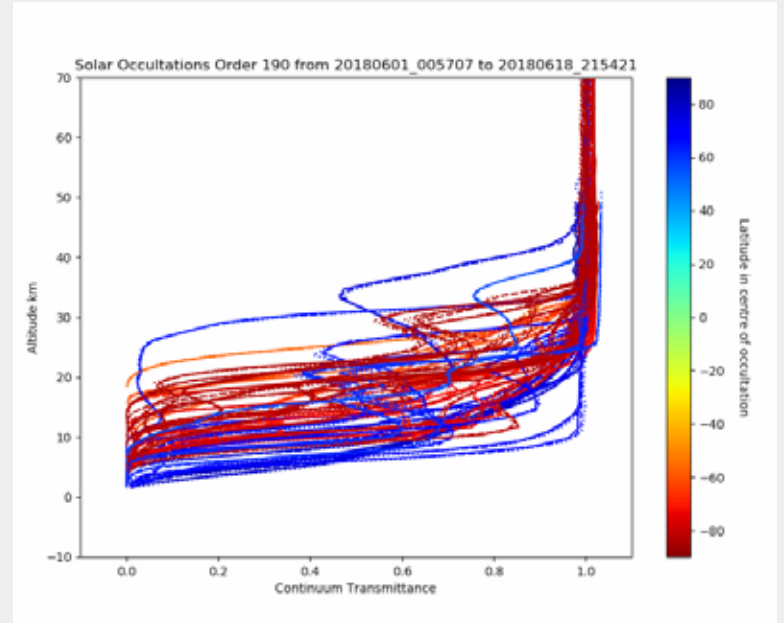
Het derde instrument is UVIS, waarvan het ontwerp gebaseerd is op het UVIS-instrument dat deel uitmaakte van de ExoMars Lander Payload en dat werd gebouwd door Open University in het Verenigd Koninkrijk. Dit kanaal meet zowel in zonne-occultatie-modus als in de nadir-modus in het ultraviolet en zichtbaar licht.

Voor elke meetgeometrie moet rekening gehouden worden met de impact van het stof op de metingen:

- Bij zonne-occultatie wordt de atmosfeer op verschillende hoogtes gemeten. Dit levert een verticaal profiel op van de atmosferische samenstelling, van de top van de atmosfeer tot bijna aan het oppervlak van de planeet. Het aanwezige stof in de atmosfeer veroorzaakt een afname van het signaal totdat dit nul wordt. Dit omdat het stof op geringe hoogte ondoorzichtig wordt en de zonnestraling niet langer het instrument kan bereiken.
- In nadir-modus moet rekening worden gehouden met twee stralingsprocessen: aerosolen of stofdeeltjes die ultraviolette en infrarode straling zowel absorberen als uitstralen. Nadir-metingen laten enerzijds enkel toe om de volledige gaskolom tussen het instrument en het reflecterende oppervlak te bepalen, maar maken het anderzijds mogelijk om variaties op het gehele oppervlak van de planeet in kaart te brengen, langs het grondspoor van de baan. Op die manier is het mogelijk om verschillen tussen de polen en de evenaar of in de loop van de missie te observeren, evenals verschillen afhankelijk van de Marsseizoenen.



Figuur 5: Transmissies gemeten door SO tussen 21 en 30 april 2018.



Figuur 6: Transmissies gemeten door SO tussen 1 en 18 juni 2018.

De optische eigenschappen van de deeltjes moeten worden geschat om de interactie tussen stof en zonnestraling te modelleren. Een fysisch deeltjesmodel wordt dan ontwikkeld, rekening houdend met de vorm en grootte van de deeltjes. Absorptie en diffusie worden opgenomen in de vergelijkingen van het stralingstransportmodel, waarmee de optische diepte kan worden afgeleid die in verhouding staat tot het aantal stofdeeltjes in de atmosfeer.

De eerste NOMAD-metingen

De NOMAD-metingen, zowel in het infrarood als het ultraviolet, werden geanalyseerd om de effecten van het stof op de resultaten van het instrument te evalueren. Enkele metingen voor april en juni worden weergegeven in Figuur 5-Figuur 6. Figuur 5 toont de transmissies gemeten door het SO-instrument tussen 21 april en 30 april 2018, en Figuur 6 tussen 1 en 18 juni 2018. De kleuren komen overeen met verschillende breedtegraden. Laten we de blauwe curves van de twee figuren vergelijken, die het signaal voorstellen dat op hoge breedtegraden werd gemeten. In april, in Figuur 5, is het signaal 1.0 (maximale transmissie) tot ongeveer 25 km. Vanaf die hoogte neemt het signaal geleidelijk af tot ongeveer 10 km hoogte (minimale transmissie - geen enkel signaal bereikt het instrument).

De blauwe curves in Figuur 6 laten een heel ander profiel zien. De metingen vertonen meer variaties en het signaal

dat het instrument bereikt, neemt niet geleidelijk af zoals het geval is in Figuur 5. Dergelijke transmissies betekenen dat er verschillende lagen in de atmosfeer aanwezig zijn die elk het signaal op een andere manier absorberen. Een dergelijke signatuur is ook zichtbaar op gemiddelde breedtegraden (oranje curven) op Figuur 5, wat ook verwacht wordt en zichtbaar is in Figuur 6. Het feit dat een absorberend element (stof of wolken) aanwezig is in de atmosfeer op hoge breedtegraden wijst op een uitzonderlijk fenomeen.

De kwantitatieve analyse van de gegevens verzameld door NOMAD is momenteel nog aan de gang.

Conclusie

De waarnemingen van de Marsatmosfeer op het einde van juli 2018 toonden aan dat de globale storm de vervalfase was ingegaan, met minder stof opgeblazen in de lucht dan afgezet op het oppervlak. Dit evenement zal het onderwerp zijn van verschillende studies. Er worden nu al plenaire sessies georganiseerd tijdens de herfstconferenties om het fenomeen te bespreken en te vergelijken met voorgaande fenomenen. Deze aanpak wordt gekozen om de omgeving van Mars beter te begrijpen, zodat deelnemers van toekomstige missies, al dan niet menselijk zijn van aard, beschermd kunnen worden tegen dergelijke grootschalige fenomenen.