



Het overbruggen van de kloof tussen gegevens en kennis in het onderzoek naar de atmosfeer van Venus

# Het VAMOS -project

Arianna Piccialli, Jan Sermeus, Simon Lejoly, Sandy Claes, Jakub Stepanovic, Arnaud Mahieux, Karolien Lefever, Stéphanie Fratta en Ann Carine Vandaele

**V**enus is onze naaste buur in het zonnestelsel. Het is een rotsachtige planeet net als de aarde en heeft een opmerkelijk vergelijkbare grootte. Het is altijd beschreven als onze zusterplaneet. Toch zijn de omstandigheden aan het oppervlak van Venus heel anders dan op aarde. De atmosfeer is er dicht, met een hoge druk (100 keer de oppervlaktedruk van de aarde) en hoge temperaturen (tot 500°C), en is erg zuur. Het is al lang een wetenschappelijke uitdaging om te begrijpen waarom deze atmosfeer zo anders is dan de onze. Om dit te weten te komen, werden verschillende ruimtemissies richting Venus gestuurd om de atmosfeer te onderzoeken. Bij het BIRA, het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (d.w.z. de wetenschap die alle planetaire atmosferen bestudeert), waren wetenschappers en ingenieurs betrokken bij de Venus Express-missie. Deze missie, die tussen 2006 en 2014 bijna tien jaar lang in een baan rond Venus draaide, leverde een ongeëvenaarde reeks gegevens op die tot op vandaag nog niet grondig geanalyseerd zijn. Wetenschappers van het BIRA zijn nog steeds betrokken bij de enige ruimtesonde die momenteel nog rond de planeet draait, Akatsuki (JAXA), en namen deel aan observatiecampagnes met grote telescopen om Venus te observeren vanop de aarde.

Vorig jaar kende het Federaal Wetenschapsbeleid (Belspo) het BIRA, UNamur, KU Leuven en LUCA School of Arts financiering toe voor het VAMOS-project, in het kader van het BRAIN-be 2.0-programma. Dit initiatief heeft als doel ons inzicht in de atmosfeer van Venus te verdiepen en ons voor te bereiden op de komende EnVision-missie, die onlangs werd geselecteerd als ESA's volgende missie naar Venus. Opnieuw is het BIRA betrokken bij deze missie.

Het onderzoeksprogramma BRAIN-be 2.0 (Belgian Research Action through Interdisciplinary Networks) is een kaderprogramma dat sinds 2018 wordt uitgevoerd onder de verantwoordelijkheid van het Federaal Wetenschapsbeleid (Belspo). Het is gestructureerd rond 3 pijlers, gaande van de uitdagingen en kennis van de levende en niet-levende wereld, de erfgoedwetenschap, tot de federale maatschappelijke uitdagingen. Op dit moment werden meer dan 170 onderzoeksprojecten gefinancierd. Voor meer informatie:

[www.belspo.be/belspo/brain2-be/program\\_nl.stm](http://www.belspo.be/belspo/brain2-be/program_nl.stm)

In wat volgt zullen we illustreren hoe VAMOS ons opwindende nieuwe leerervaringen biedt. Eerst zal het planetaire wetenschapsteam van het BIRA uitleggen hoe ze de beschikbare gegevens gebruiken om inzicht te krijgen in de atmosfeer van Venus. Vervolgens zal het UNamur-team de rol van machinelearning bij het bouwen van een uitgebreid model van de atmosfeer uitleggen. Tot slot zullen de gezamenlijke teams van KU Leuven en LUCA uitleggen hoe we over dit ambitieuze project en de atmosfeer van Venus zullen communiceren naar het publiek toe.

## Langetermijntrends en klimatologieën van de atmosfeer van Venus bestuderen

Na de voltooiing van de succesvolle Venus Express-missie in december 2014, blijft de waarde ervan aanzienlijk door de enorme hoeveelheid onontgonnen gegevens die verzameld werden. Een van deze datasets omvat de gegevens verzameld door de SOIR-spectrometer (Solar Occultation in InfraRed), waar het BIRA hoofdonderzoeker van is. Door de zonsopgang en -ondergang op Venus te observeren, onderzocht SOIR de verschillende atmosferische niveaus van Venus. Dit blijft waardevolle inzichten verschaffen, zelfs nadat de missie werd beëindigd. Het verwerken en interpreteren van zulke rijke informatie blijft essentieel om verder nieuwe geheimen over de atmosfeer van Venus te onthullen.

Tot nu toe ziet de atmosfeer van Venus er behoorlijk complex uit. De langetermijngegevens van het SOIR-instrument zullen nuttig zijn om veranderingen in de atmosfeer op korte en lange termijn in kaart te brengen (en uiteindelijk te begrijpen). Door deze gegevens te combineren met de waarnemingen vanaf de aarde, die een beeld geven van de atmosfeer van Venus als geheel, kan uiteindelijk een globaal beeld worden verkregen.

Sommige eigenschappen zijn een uitdaging om te begrijpen zoals de zeer variabele hoeveelheden van atmosferische spoorstoffen (waar ontstaan en verdwijnen ze?), de rol van windpatronen op planeetschaal en lokale turbulenties, en de golfachtige fenomenen in de bovenste atmosfeer.

Wetenschappers van het BIRA hebben nu de taak om de gegevens verder te analyseren, op zoek naar patronen en correlaties tussen de waargenomen grootheden en externe variabelen (bijvoorbeeld de activiteit van de zon ten tijde van de waarnemingen).

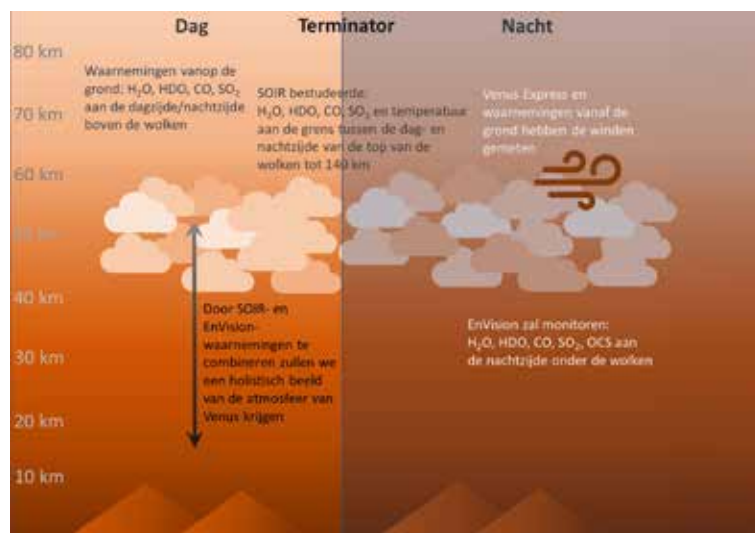
## Machinelearning om planeetatmosferen te bestuderen

Waar het BIRA 'traditionele' methodes zal gebruiken om de gegevens te verwerken, zal UNamur 'machinelearning' (ML) gebruiken. Deze innovatieve aanpak zal ons begrip van de atmosfeer van Venus verbreden en een kans bieden om ML-technieken te verbeteren.

ML heeft recent veel aandacht gekregen van het grote publiek door de introductie van generatieve grote taalmodellen (bijv. Chat-GPT) of tools voor het genereren van beelden (bijv. Dall-E). Het werd echter al gebruikt achter vele aspecten van ons dage-



De verschillende stappen van het VAMOS-project waarbij teams van vier Belgische instellingen betrokken zijn (aangepast van © Europlanet Society).



Schema dat de waarneemgebieden van de verschillende instrumenten weergeeft: SOIR boven de wolken aan de terminator (de grens tussen dag en nacht), telescopen vanaf de aarde boven de wolken zowel overdag als 's nachts en EnVision onder de wolken, eveneens de hele dag en nacht door. Daarnaast worden ook de gassen vermeld die door deze instrumenten worden gemonitord.

lijks leven. Met name onderzoekers zijn erop gebrand om ML toe te passen op vele wetenschappelijke gebieden. Hun modellen kunnen gebruikmaken van enorme datasets om kennis te extraheren uit complexe fenomenen in de chemie, biologie, fysica en atmosfeerwetenschappen (bijv. in meteorologische voorspellingen).

In VAMOS zal ML patronen onderscheiden binnen atmosferische profielen, die inzicht geven in specifieke fenomenen of gegevens vergelijken van verschillende instrumenten, vergelijkbaar met wat de BIRA-wetenschappers doen. De echte bedoeling is echter om het inzicht van de modellen in deze verschijnselen te gebruiken om waarschijnlijke waarden te extrapoleren voor ontbrekende waarnemingen.

Extrapolatie is altijd een delicate operatie. Als oplossingen niet op een doordachte manier worden ontworpen aan de hand van artificiële intelligentie (AI), kunnen ze volledig foute gegevens introduceren, waardoor het vertrouwen in de resultaten van het project afneemt. Daarom is het belangrijk om ML zo op te zetten dat we de uitkomsten kunnen verklaren. Deze verklaarbaarheid onderscheidt het van de meeste ML-modellen, die in wezen zwarte dozen zijn waarvan de interne redenering moeilijk (zo niet onmogelijk) te begrijpen is. Deze nadruk op verklaarbaarheid maakt deskundige validatie mogelijk, waardoor fysici de door AI gegenereerde voorspellingen nauwkeurig kunnen onderzoeken en ervoor kunnen zorgen dat wat het model heeft geleerd over atmosferische interacties inderdaad plausibel is.

Naast verklaarbaarheid is de tweede uitdaging van het UNamur-team het bewaken van de onzekerheid van de (voorspelde) gegevens en modellen. Atmosferische waarnemingen gaan gepaard met allerlei fouten, benaderingen en onzekerheden. Typische ML-modellen worden getraind om een bepaalde globale prestatiescore te maximaliseren (bijv. classificatienauwkeurigheid). In ons geval is dit onvoldoende om het vertrouwen te bepalen dat onze modellen hebben in de gegevens die ze genereren. We willen dat onze modellen een onderscheid kunnen maken tussen intrinsieke onzekerheid in waargenomen verschijnselen en onzekerheid veroorzaakt door gegevensschaarste<sup>(1)</sup>. Daartoe onderzoekt het team probabilistische modellen, zoals Gaussische processen, om maximale informatie te verkrijgen terwijl het onbekende nauwkeurig wordt afgebakend.

## Ondersteuning van wetenschappelijke gegevensinterpretatie in samenwerkingsverband

Het integreren van methoden voor machinaal leren (ML) in wetenschappelijke activiteiten vraagt om het vinden van een delicaat evenwicht, waarbij zowel het vertrouwen van specialisten als van een niet-gespecialiseerd publiek behouden moet blijven. Binnen VAMOS willen we daarom ook open communiceren over ons werk, met erkenning van de onzekerheid die kenmerkend is voor de wetenschap en de extra elementen door de introductie van ML in het wetenschappelijke proces. Dit is vooral belangrijk omdat in het huidige informatielandschap de publieke perceptie van wetenschap al varieert, van diep wantrouwen tot onrealistische verwachtingen. De uitersten van dit spectrum zijn uiteindelijk naïef. Dit was duidelijk tijdens de COVID-19-crisis, toen sommigen de beleidsvorming wilden toevertrouwen aan virologen terwijl anderen afzagen van vaccinatie. Met de komst van ML en AI wordt deze tweedeling weer prominent in het publieke debat. We willen voorlichting geven en communiceren over wetenschap op een manier die een geïnformeerde kijk op wetenschap ontwikkelt en misvattingen over wetenschap aanpakt.

Opnieuw dient het VAMOS-project als een uitstekend platform om de groei in wetenschappeneducatie en wetenschapscommunicatie te bevorderen. Bijzonder fascinerend is het concept van de Natuur van de Wetenschap ('Nature of Science' of 'NoS'), dat zich richt op de basisregels die wetenschappelijke evolutie, bevindingen en ideologieën sturen. Dit begrip gaat verder dan het presenteren van wetenschap in klaslokalen als een star geheel van kennis. In plaats daarvan stimuleert het discussies over wetenschappelijke benaderingen, gedeelde waarden en tradities, en beperkingen.

Het Planetarium van Brussel



Hoewel het raamwerk in de jaren 1980 werd ontwikkeld, blijft het een onderwerp van discussie onder wetenschappers op het gebied van wetenschapsonderwijs. Door meerdere datasets te combineren en machinelearning te gebruiken, biedt het VAMOS-project een unieke kans om één NoS-aspect, namelijk het concept van onzekerheid, diepgaand te onderzoeken. Specifiek opent het discussies over het begrijpen van ontbrekende en schaarse gegevens in de klassieke wetenschap. Het maakt ook discussies mogelijk over de verschillende methoden en de rol van ML in de wetenschap en de benadering van het omgaan met onzekerheid.

We zullen verschillende wetenschappelijke visualisaties ontwerpen voor het Planetarium in Brussel. Het is een boeiende omgeving omdat het zowel een 23 m-koepel herbergt, waar mensen een meeslepende gedeelde ervaring kunnen beleven, als meer individuele technologieën in de lobby van het planetarium (bijv. virtual reality, een multitouchtafel, een interactieve wereldbol, een hologramtafel, ...). Deze stellen individuen en kleine groepen in staat om te interageren met behulp van technologie en de inhoud op eigen houtje te verkennen. Het evalueren van de resultaten van deze visualisaties zal inzichten opleveren in NoS en 'good practices' voor het communiceren over (onzekerheid in) atmosferisch onderzoek en ML. Ons doel is om boeiende leerervaringen te creëren die niet alleen iets vertellen over de wetenschap van VAMOS en Venus, maar ook nieuwsgierigheid wekken voor de wetenschap als geheel.

#### Noot

(1) Merk op dat er weliswaar meer gegevens zijn dan aeronomie-wetenschappers gewend zijn, maar veel minder dan wat ML-wetenschappers gewend zijn.

## Meer

VAMOS is een vierjarig project dat gefinancierd wordt door het onderzoeksprogramma BRAIN-be 2.0 van de Federale Programmatorische Overheidsdienst Wetenschapsbeleid (Belspo) (2023-2027). Het project wordt geleid door het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) in samenwerking met LUCA School of Arts, de Universiteit van Namen (UNamur) en de Katholieke Universiteit Leuven (KU Leuven).

- VAMOS-website: <https://vamos.aeronomie.be/>
- Planetarium van Brussel: <https://planetarium.be/nl>
- Onderzoeksprogramma BRAIN-be 2.0: [https://www.belspo.be/belspo/brain2-be/program\\_nl.stm](https://www.belspo.be/belspo/brain2-be/program_nl.stm)
- Onderzoeksgroep Planeetatmosferafen: <https://planetary.aeronomie.be/>
- UNamur HuMaLearn team: <https://humalearn.info.unamur.be>

## De auteurs

Arianna Piccialli en Arnaud Mahieux zijn wetenschappers in de onderzoeksgroep Planeetatmosferafen van het BIRA. Ann Carine Vandaele leidt er het departement Zonnestraling in atmosfeeren. Karolien Lefever en Stéphanie Fratta maken deel uit van de Communicatiecel van het BIRA.

Simon Lejoly maakt deel uit van het HuMaLearn-team van UNamur.

Jan Sermeus en Jakub Stepanovic maken deel uit van het departement Natuurkunde en Sterrenkunde van de KU Leuven. Sandy Claes maakt deel uit van LUCA School of Arts.

#### Het VAMOS-team

BIRA: Arianna Piccialli, Arnaud Mahieux, Ann Carine Vandaele, Stéphanie Fratta, Lucie Lamort, Karolien Lefever, Umar Sayyed

KU Leuven: Jan Sermeus, Jakub Stepanovic

LUCA School of Arts: Sandy Claes

UNamur: Benoît Fréney, Simon Lejoly

