

# Vénus:

## une clé pour comprendre l'histoire des planètes telluriques

**E**n juin 2021, l'Agence spatiale européenne (ESA) a sélectionné une nouvelle mission pour explorer le climat et l'évolution de Vénus, EnVision. Le vaisseau spatial accueille à son bord un instrument belge, conçu par l'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB). Ce n'est pas la première fois que l'IASB se lance dans l'exploration de la jumelle de la Terre, puisqu'il a développé l'instrument SOIR à bord de Venus Express, la première mission européenne vers Vénus.

Arianna Piccialli, Karolien Lefever, Lucie Lamort, Arnaud Mahieux, Séverine Robert et Stéphanie Fratta

### La longue histoire de l'exploration de Vénus

Vénus, l'un des objets les plus brillants du ciel, est connue depuis la préhistoire et a toujours joué un rôle important dans la culture et dans l'imaginaire des hommes. Les premières observations de Vénus depuis la Terre ont permis de conclure que notre voisine planétaire la plus proche était à bien des égards sa jumelle. En effet, sa taille, sa composition en masse et sa distance par rapport au Soleil sont très similaires à celles de la Terre, comme on peut l'observer sur la figure 1.

Dans les années 60' et 70', en pleine guerre froide, les États-Unis et l'Union soviétique y ont envoyé de multiples missions. Vénus a été le témoin de réalisations sans précédent dans l'histoire de l'exploration spatiale. C'est la première planète à avoir été explorée par un engin spatial, lorsqu'en 1962, Mariner-2 l'a survolée. En 1967, Venera-4 a été la première sonde à pénétrer dans une atmosphère autre que celle de la Terre. Venera-9 a acquis la première image de la surface d'une autre planète en 1975, et la mission VeGa a déployé avec succès deux ballons dans l'atmosphère de Vénus en 1985. Pioneer Venus, le premier orbiteur et radar, et la série de missions Venera, ont obtenu des résultats impressionnants au cours des années 1980, révélant des détails importants sur l'atmosphère de Vénus.

Ces missions ont rapidement découvert que la planète était un enfer, et qu'elle présentait des conditions atmosphériques très différentes de celles de la Terre. La pression atmosphérique à

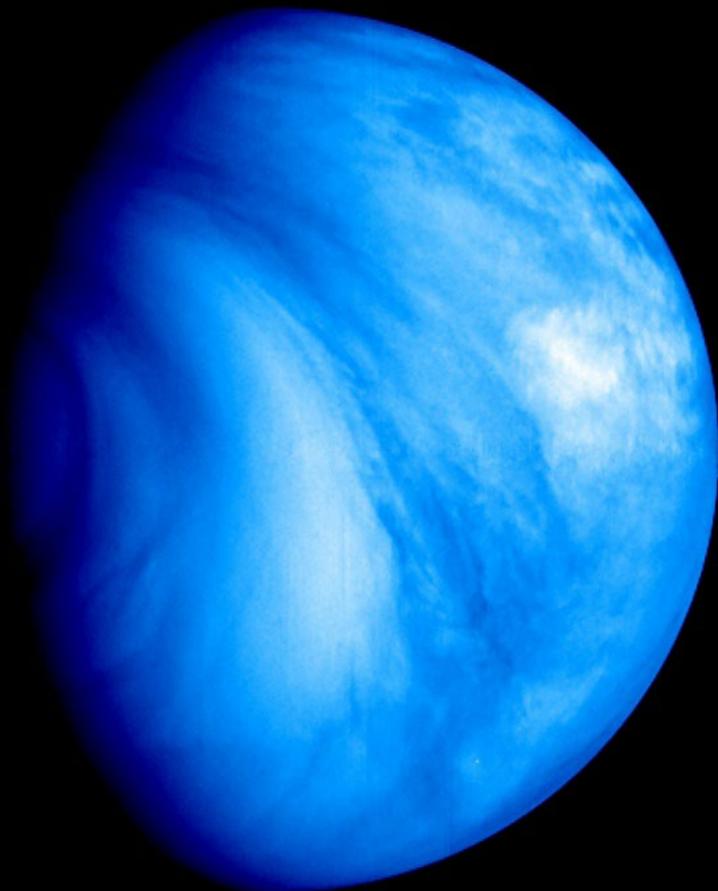
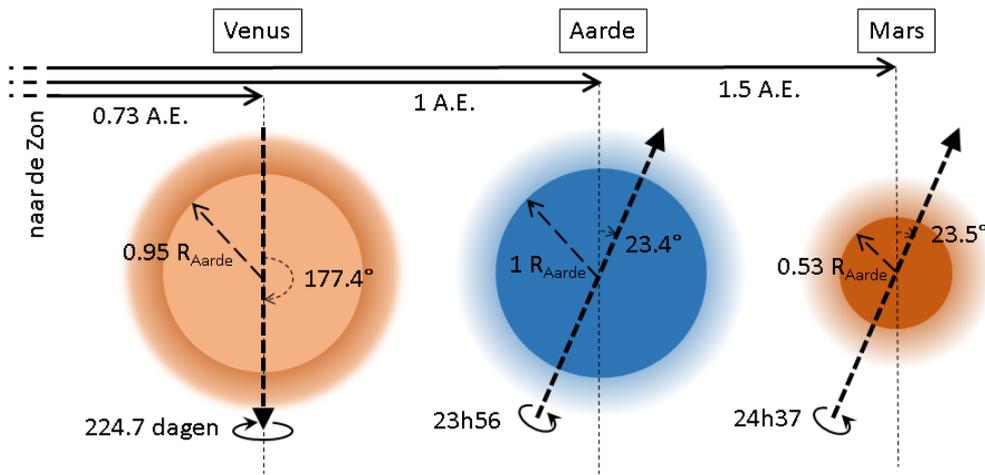


Photo en fausses couleurs prise en lumière ultraviolette avec la caméra de surveillance de Vénus à bord de Venus Express le 23 juillet 2007.  
Copyright : ESA/MPS/DLR-PF/IDA

la surface de Vénus est environ 92 fois supérieure à celle de la Terre, similaire à la pression que l'on trouve à 900 m sous l'eau sur Terre, tandis que la température de 464°C en surface est supérieure au point de fusion du plomb. Des valeurs aussi élevées de pression et de température sont le résultat d'un fort effet de serre. Pour ajouter à ce scénario infernal, la planète est entièrement enveloppée d'une épaisse couche nuageuse composée de gouttelettes d'acide sulfurique et d'eau. Pendant des décennies, cette atmosphère dense et cette épaisse couverture nuageuse ont empêché les scientifiques de voir ce qui se cache sous les nuages. Le premier coup d'œil à la surface de Vénus est devenu possible avec le développement des systèmes d'imagerie radar, et au début des années 1990, l'orbiteur Magellan a réalisé la première cartographie radar globale de la surface.



Comparaison entre les trois planètes telluriques possédant une atmosphère. AU signifie « unité astronomique », une unité standard égale à la distance entre le Soleil et la Terre (150 millions de km).  
Crédit : A. Mahieux.

### Pourquoi les planètes telluriques sont-elles si différentes ?

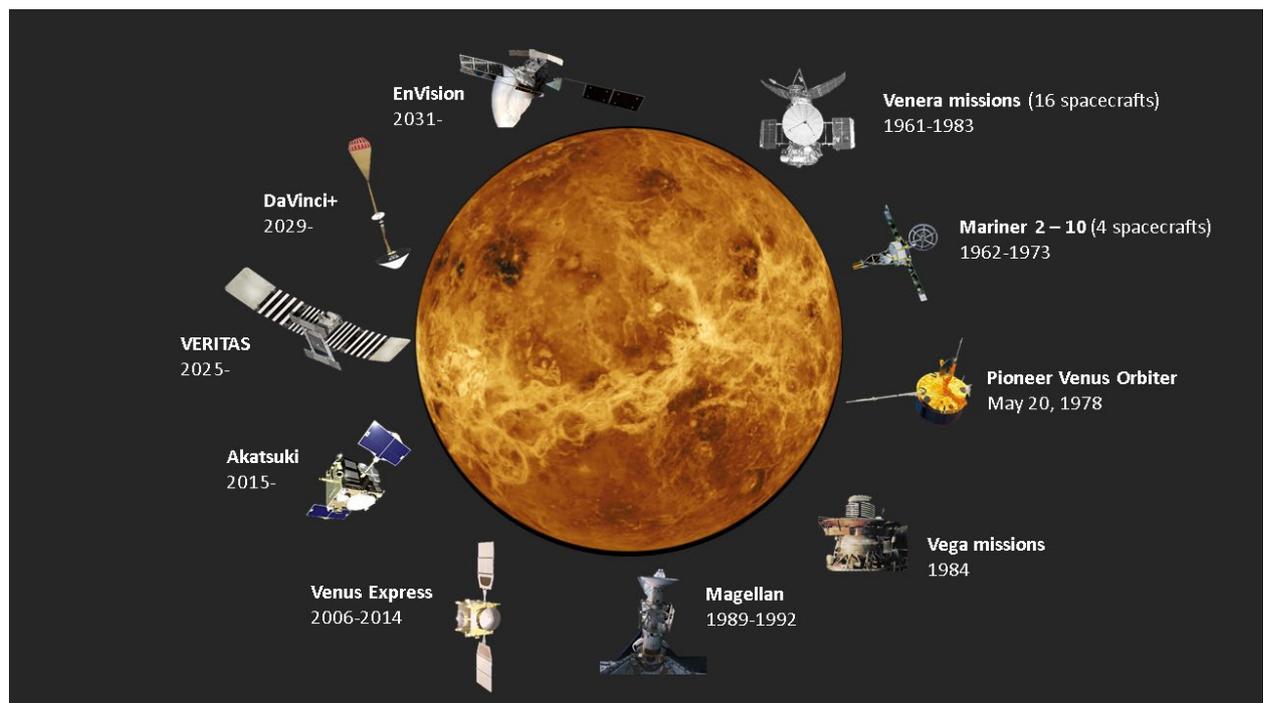
Vénus et Mars, qui se sont formées à peu près en même temps que la Terre et à partir des mêmes ingrédients, ont évolué très différemment, et elles sont aujourd’hui inhabitables et incompatibles avec la vie telle que nous la connaissons. Les atmosphères primitives de ces deux planètes, très riches en dioxyde de carbone et en vapeur d’eau, semblent avoir subi des changements catastrophiques. Alors que sur Terre un climat tempéré s’en est suivi, Vénus a connu un emballement de l’effet de serre tandis que Mars semble avoir perdu la majeure partie de son atmosphère. Caractériser les principaux processus physiques à l’origine de ces évolutions différentes est aujourd’hui plus important que jamais, tant pour comprendre la diversité des planètes autour d’autres étoiles que pour l’avenir du climat sur Terre.

### L’exploration de Vénus offre des opportunités uniques pour répondre à ces questions fondamentales sur l’évolution des planètes telluriques et l’habitabilité au sein de notre propre système solaire

#### Venus Express: la première mission européenne pour Vénus

Après une pause de plus de dix ans depuis la dernière mission dédiée à Vénus, la mission Venus Express (VEx, 2006-2014) de l’ESA a répondu à de nombreuses questions sur notre voisine planétaire la plus proche et a établi le leadership européen dans la recherche sur Vénus. L’objectif principal de VEx était d’étudier l’atmosphère vénusienne. Cette mission s’est principalement intéressée à la haute atmosphère de la planète, au-dessus de la couche nuageuse, en essayant d’en déchiffrer la dynamique et la chimie complexes, et d’améliorer notre compréhension de l’évolution de la planète.

Portrait de famille des missions passées, actuelles et futures consacrées à Vénus.  
Crédit : A. Piccialli



>>

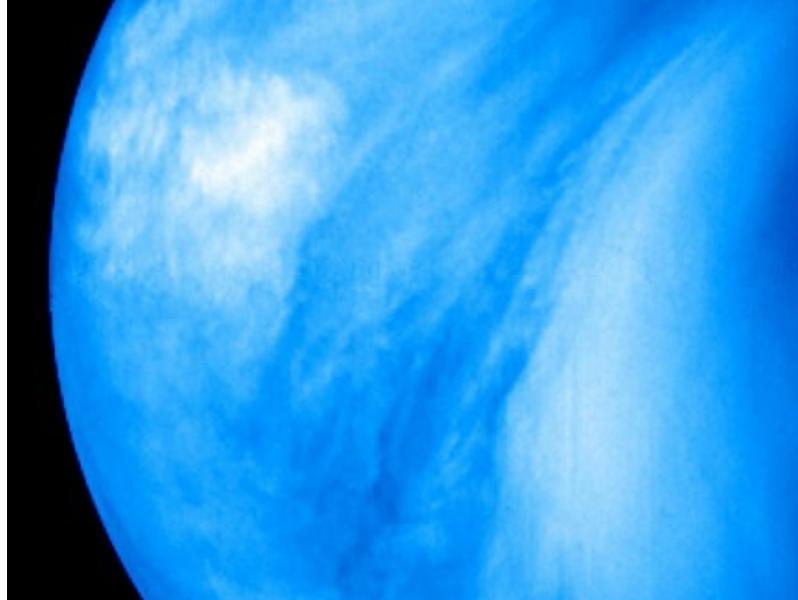
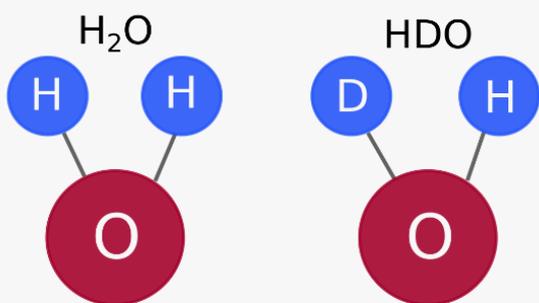
Venus Express accueillait à son bord un instrument entièrement belge, SOIR (Solar Occultation at Infrared), développé par l'IASB en étroite collaboration avec un partenaire industriel belge : OIP. SOIR était un spectromètre à haute résolution dans l'infrarouge fonctionnant en mode occultation qui a étudié la composition et la structure thermique au crépuscule de Vénus.

L'un des objectifs de SOIR était de mesurer l'eau ( $H_2O$ ) et l'eau lourde (HDO) dans la haute atmosphère de Vénus (Figure 4). Le deutérium (D) étant plus lourd que l'hydrogène (H), il est plus difficile pour le deutérium de s'échapper de l'atmosphère d'une planète. Aujourd'hui, Vénus est significativement plus sèche que la Terre, avec un rapport D/H important ( $\approx 100$  fois la valeur terrestre) qui suggère une fuite dramatique d'eau dans son histoire, principalement due à un emballement intense de l'effet de serre. Plusieurs études suggèrent que l'équivalent d'un océan terrestre en eau a été perdu dans l'espace au cours des premières centaines de millions d'années de l'évolution de la planète.

$H_2O$  joue également un rôle important dans la chimie de la basse et moyenne atmosphère, notamment en ce qui concerne l'épaisse couche nuageuse, qui s'étend d'environ 45 à 65 km et se compose de vapeur d'eau (25%) et d'acide sulfurique (75%). La vapeur d'eau et le dioxyde de soufre sont abondants dans la basse troposphère. Ils sont transportés par convection, plus haut dans l'atmosphère où ils forment de l'acide sulfurique, qui se condense dans les nuages enveloppant la planète.

### QU'EST-CE QUE L'EAU LOURDE ?

Une molécule d'eau contient deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène. Dans l'eau lourde (ou plutôt semi-lourde) - physiquement et chimiquement similaire à l'eau ordinaire - un ou deux atomes d'hydrogène sont remplacés par un atome de deutérium, une forme d'hydrogène avec un neutron supplémentaire. Le deutérium est deux fois plus lourd que l'hydrogène ; c'est pourquoi il est plus difficile pour lui de s'échapper d'une atmosphère planétaire.



Les mesures de dioxyde de soufre effectuées dans la haute atmosphère par les instruments SOIR, SPICAM (SPectroscopie pour l'Investigation des Caractéristiques Atmosphériques de Mars) et VIRTIS (Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer) ont révélé une grande variabilité pendant la durée de la mission. Bien que la circulation atmosphérique puisse produire des résultats similaires, la présence d'une activité volcanique actuelle était l'une des explications possibles.

La mission Venus Express s'est terminée en 2014, lorsqu'elle a plongé dans l'atmosphère dense de la planète, après avoir effectué une campagne d'aérofreinage qui a permis au vaisseau spatial de sonder des régions inexplorées de l'atmosphère.

L'orbiteur japonais Akatsuki, qui a réussi sa mise en orbite en 2015, reste à ce jour le seul engin spatial à étudier l'atmosphère vénusienne. Avec quatre caméras à bord, chacune observant la planète à différentes longueurs d'onde, l'objectif principal de l'orbiteur japonais est de comprendre la dynamique et la circulation complexes au sommet et à l'intérieur des nuages.

Les missions VEx et Akatsuki ont été soutenues par des observations au sol, qui sont toujours en cours. Par exemple, les observations au sol de HDO et  $H_2O$  au sommet des nuages avec le grand réseau millimétrique/submillimétrique d'Atacama (ALMA) - dans une étude à laquelle participent des scientifiques de l'IASB - ont révélé une forte variabilité d'un jour à l'autre. Il est essentiel de comprendre les relations entre les variations temporelles des différentes espèces pour identifier le(s) mécanisme(s) à l'origine de ces variations dans les différentes couches de l'atmosphère.

De nombreuses questions importantes demeurent sur l'état actuel de Vénus, nous ne savons toujours pas si la planète est géologiquement active aujourd'hui et si des éruptions volcaniques ont lieu. En raison de la difficulté à sonder les régions atmosphériques situées sous la couche nuageuse, nous manquons d'importantes informations concernant les interactions entre les processus - rayonnement, (photo)chimie et dynamique - en jeu dans les différentes régions de l'atmosphère.

## Saviez-vous que... ?

Le terme "Express" dans Venus Express fait référence à la brièveté du trajet du vaisseau spatial pour atteindre la planète, ainsi qu'à l'incroyable brièveté de la conception et du développement de la mission. Il s'est en effet écoulé moins

de quatre ans entre l'approbation et le lancement du vaisseau spatial.

Cela a été possible grâce à la réutilisation d'instruments scientifiques embarqués sur d'autres engins spatiaux,

tels que Mars Express et Rosetta. Le seul instrument qui a été conçu spécifiquement pour Venus Express est SOIR, développé extrêmement rapidement par l'équipe de Ir. Nevejans de l'IASB.

## EnVision: la prochaine mission de l'ESA pour Vénus

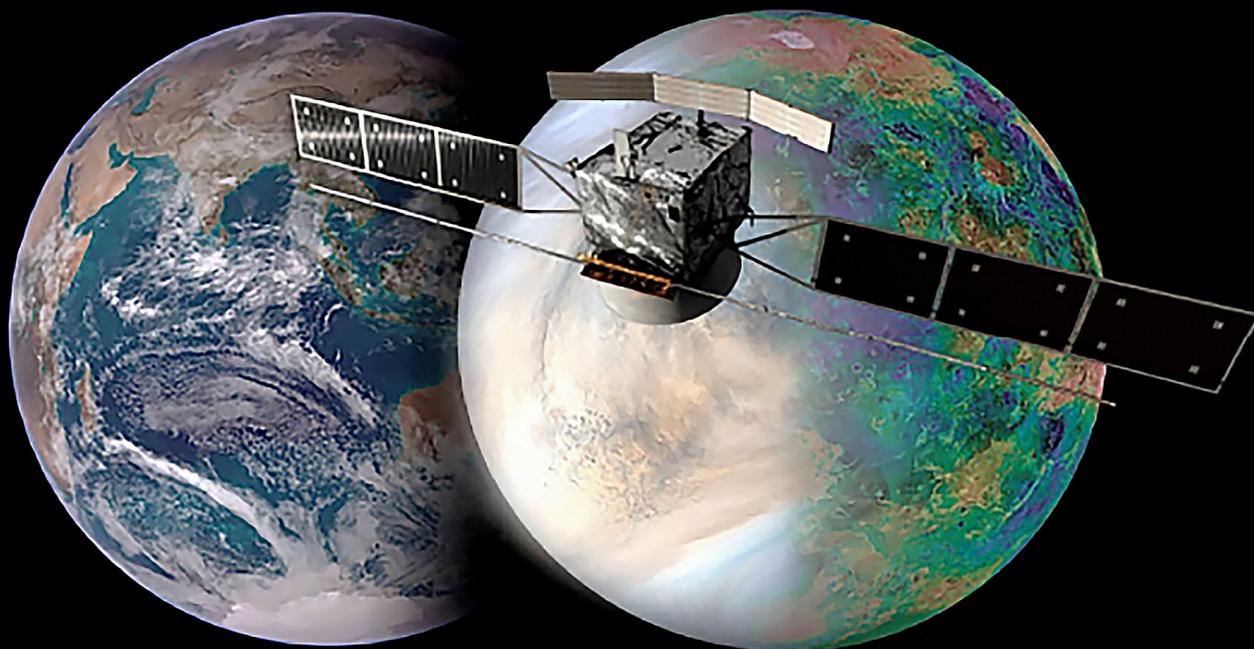
En juin 2021, un tournant a été pris dans l'histoire de l'exploration de Vénus, puisque trois missions ont été sélectionnées pour retourner sur Vénus. Deux missions de la NASA, DAVINCI (Deep Atmosphere Venus Investigation of Noble gases, Chemistry, and Imaging) et VERITAS (Venus Emissivity, Radio Science, InSAR, Topography, and Spectroscopy), plus la mission européenne EnVision, retourneront explorer Vénus au début des années 30. Les trois missions travailleront en synergie pour fournir l'étude la plus complète de Vénus jamais réalisée.

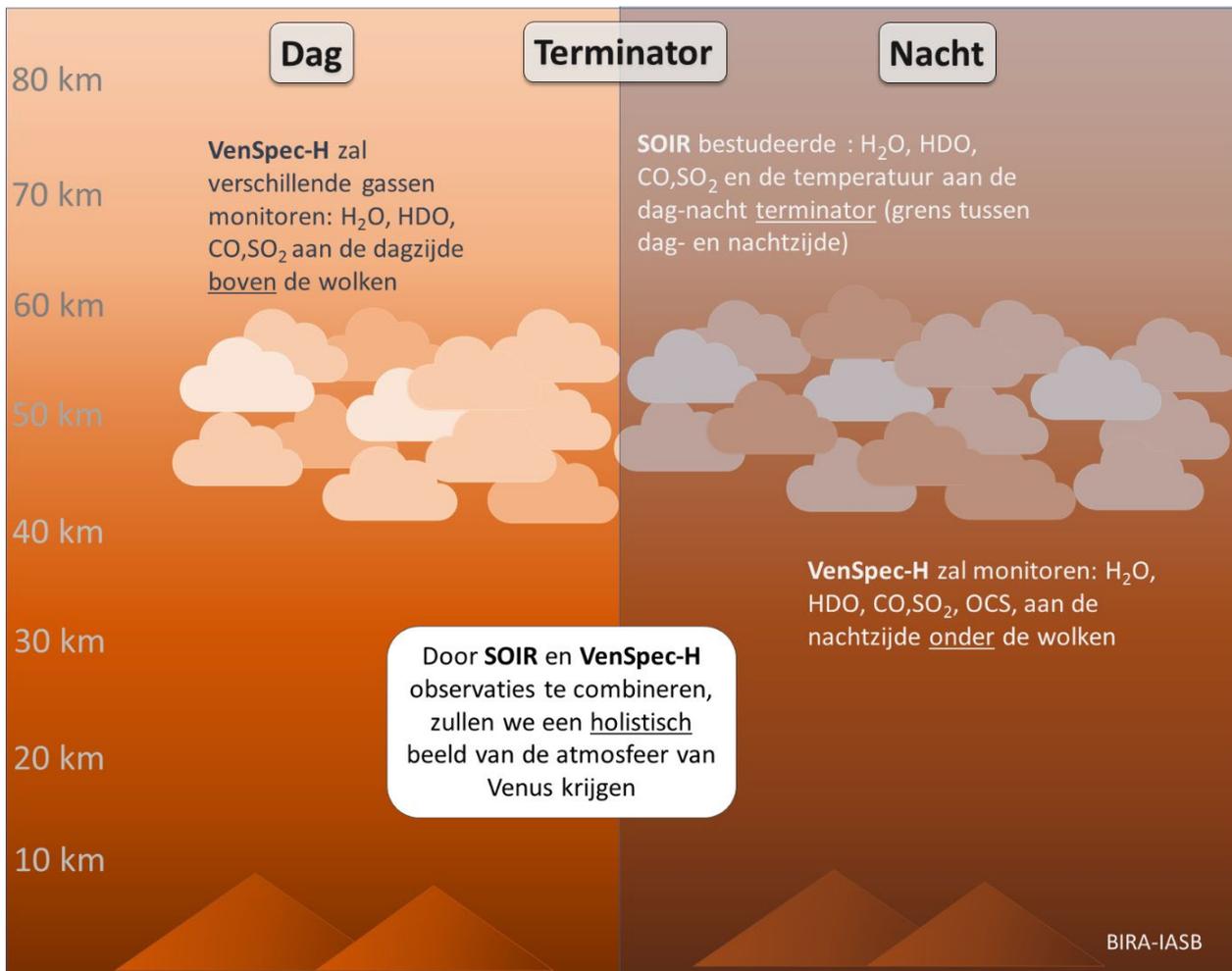
Le lancement d'EnVision est prévu en 2031 depuis le port spatial de l'ESA à Kourou, en Guyane française, à bord d'une fusée Ariane 62. Il lui faudra 15 mois pour atteindre Vénus. Après plusieurs mois d'aérofreinage, l'orbiteur sera placé sur une orbite légèrement elliptique autour de la planète et commencera alors ses observations scientifiques.

L'histoire, le climat et l'évolution de Vénus sont au centre de cette nouvelle mission européenne, qui étudiera la planète de manière inédite, du noyau jusqu'aux nuages.

>>

La mission EnVision vers Vénus explorera pourquoi la plus proche voisine de la Terre est si différente  
(Copyright NASA / JAXA / ISAS / DARTS / Damia Bouic / VR2Planets).





Infographie décrivant les objectifs de recherche de SOIR et VenSpec-H.  
Crédit : IASB

L'un des instruments de la charge utile EnVision, VenSpec-H (Venus Spectrometer with High Resolution), est dirigé par l'IASB. Il est un héritage direct du canal LNO (Limb, Nadir and Occultation) de l'instrument NOMAD (Nadir and Occultation for MARS Discovery) à bord de l'orbiteur ExoMars Trace Gas. Il permettra de suivre les questions sans réponse soulevées par SOIR, telles que le lien entre la troposphère sous les nuages et la haute atmosphère, les détections de variations d'espèces mineures, et leur lien possible avec les activités volcaniques.

## Conclusions

L'une des nombreuses réalisations de SOIR a été la capacité de surveiller plusieurs espèces mineures et la structure thermique de la haute atmosphère de Vénus sur une longue période. La grande variabilité observée reste en grande partie inexplicée. Les corrélations entre les différentes espèces, le lien avec la région atmosphérique située sous les nuages, ainsi que l'interaction avec la surface, restent des questions ouvertes. EnVision, et en particulier VenSpec-H, répondra à bon nombre de ces questions grâce à la solide expertise acquise par l'IASB lors de missions planétaires antérieures.

### LES AUTEURS

Arianna Piccialli, Arnaud Mahieux et Séverine Robert font partie du groupe d'aéronomie planétaire de l'IASB.

Karolien Lefever, Lucie Lamort, et Stéphanie Fratta font partie de la cellule de communication de l'IASB.

