

CE QUE VENUS EXPRESS NOUS A APPRIS ET CE QUE NOUS IGNORONS TOUJOURS APRÈS LA PREMIÈRE MISSION DE L'ESA VERS NOTRE PLUS PROCHE VOISINE

S. Limaye(1), V. Wilquet(2) et A.C. Vandaele(2)

(1) University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA

(2) Aéronomie planétaire, Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique, Belgique

Introduction

Après huit années passées en orbite autour de Vénus, la sonde européenne Venus Express a cessé de répondre. On pense qu'elle est arrivée à court de carburant. Elle est maintenant condamnée à brûler dans l'atmosphère de la planète.

Entre son lancement le 15 novembre 2005 depuis Baïkonour au Kazakhstan et sa fin soudaine en novembre 2014, Venus Express (Sanjay, 2005 ; Vandaele, 2005) a établi un certain nombre de records sans précédents. La mission fut conçue sur base d'un appel à idées lancé par la com-

munauté scientifique européenne sur comment réutiliser au mieux les connaissances acquises lors de la conception et de la construction de la sonde Mars Express. Le 5 novembre 2002, l'ESA décidait de sélectionner la mission Venus Express parmi trois propositions compétitives, les deux autres étant la sonde Cosmic DUNE pour l'étude des poussières galactiques interplanétaires, et SPORt Express devant s'intéresser à la polarisation du rayonnement cosmique microonde rémanent. À la suite de plusieurs études de faisabilité très détaillées, le comité consultatif sur les sciences spatiales de l'ESA recommandait en effet la mission Venus Express.

Moins de trois ans se sont écoulés entre la sélection et le lancement de la mission. C'est sans aucun doute le temps le plus court jamais enregistré pour la préparation d'une mission spatiale! Cela n'a été possible que grâce au support constant et fort de la communauté scientifique, ainsi qu'à l'implication des différentes institutions participantes. Rappelons que l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) en faisait partie. Nous décrirons plus dans le détail sa contribution dans la suite de cet article.

Table 1. Les instruments à bord de Venus Express

Instrument	Objectif	Héritage
ASPERA-4	Analyse de plasmas neutres et ionisés	Mars Express (ASPERA-3)
MAG	Magnétomètre -Mesures du champ magnétique	Rosetta Lander (ROMAP)
PFS	Sondage de l'atmosphère par spectroscopie de Fourier à haute résolution	Mars Express (PFS)
SPICAV/ SOIR	Spectrométrie UV et IR de l'atmosphère par occultation solaire et stellaire	Mars Express (SPICAM) Pour SOIR : nouveau design
VeRa	Radio sondage de l'atmosphère	Rosetta (RSI)
VIRTIS	Spectromètre imageur UV et IR pour la cartographie de la surface et de l'atmosphère	Rosetta (VIRTIS)
VMC	Caméra à grand champ - Imageur Ultraviolet et visible	Nouveau design

Le satellite et les instruments

La réalisation de Venus Express fut singulièrement simplifiée puisque la plupart des instruments avaient déjà été développés pour d'autres missions spatiales, notamment Mars Express. Une exception cependant, et non la moindre: l'instrument SOIR qui fut conçu et développé par l'IASB.

Sept instruments sont à bord de la mission (Tableau 1, voir aussi Vandaele (2005)) : un analyseur de plasma et d'atomes neutres à haute énergie (ASPERA), un magnétomètre (MAG), un spectromètre de Fourier à haute résolution dans l'infrarouge (PFS), un spectromètre dans l'ultraviolet et l'infrarouge pour occultations stellaires et solaires (SPICAV/SOIR), une expérience d'occultation radio (VeRa), un spectro-

mètre imageur dans l'ultraviolet et le proche infrarouge (VIRTIS), et enfin une caméra à grand angle (VMC). La plupart de ces instruments existaient déjà soit sur Mars Express, soit sur Rosetta. Seuls VMC et SOIR sont de nouvelles additions. SOIR est un nouveau type de spectromètre basé sur un concept imaginé conjointement par les ingénieurs de l'IASB, du LATMOS (anciennement Service d'Aéronomie, France) et de l'IKI (Space Research Institute, Moscou, Russie). Outre le développement et la construction de l'instrument SOIR, l'IASB était également responsable de toutes les opérations de gestion de l'instrument, de la planification des observations et de l'archivage des données. En parallèle, bien sûr, les chercheurs de l'IASB ont analysé en détails les spectres enregistrés par l'instrument afin d'en déduire de nouvelles connaissances

sur la composition de l'atmosphère de Vénus. Le satellite lui-même n'a dû subir que quelques modifications mineures. Mars Express emmenait un atterrisseur Beagle-2, mais pas la mission vers Vénus : un tel engin n'aurait pas survécu aux conditions de température et de pression extrêmes régnant à la surface de Vénus (90 atm et 475°C). Comme Vénus est plus proche du Soleil que Mars, la taille des panneaux solaires a été réduite de moitié environ (5,7 m² contre 11,42 m² pour Mars Express) de manière à convertir la radiation solaire en électricité (1100 W contre 640 W). Cette énergie a été utilisée par le sa-

tellite et les instruments scientifiques, pour maintenir le contact radio avec les stations sur Terre, pour recevoir et envoyer les commandes et pour transmettre les données. La proximité du Soleil a aussi imposé que le satellite et les instruments soient isolés par une série de 23 couches d'un matériau grandement réfléchissant de manière à maintenir la température à un niveau sécurisé. Les panneaux solaires de Venus Express ont été réalisés en arséniure de gallium (silicium pour Mars Express).

Le satellite, avec une masse totale de 1270 kg, dont 93 kg d'instruments scientifiques et 570 kg de fuel, a été lancé avec succès par une fusée Soyouz Fregat. Après un voyage de 155 jours à travers le système solaire, Venus Express est arrivé à destination le 11 avril 2006. Après une mise à feu des moteurs pendant 50 minutes pour freiner, le satellite prenait place sur son orbite elliptique passant à 350000 km au-dessus du pôle sud et à moins de 250 km du pôle nord. Lors de cette toute première orbite, l'instrument VIRTIS (*Visible InfraRed Thermal Imaging Spectrometer*) a confirmé la présence d'un vortex global circumpolaire dans l'hémisphère sud (Figure 1). L'existence de celui-ci avait été mise en évidence pour la première fois sur des images prises par la sonde Mariner 10, enregistrées en février 1974. Les observations de VIRTIS ont confirmé que le vortex était une structure de l'atmosphère ayant une grande durée de vie. L'orbite a ensuite été modifiée lentement de manière à obtenir une orbite ayant une période de 24 heures, toujours elliptique (66000 km au-dessus du pôle sud – 200 km au-dessus du pôle nord).

Après une batterie de tests effectués avec les instruments, et ce pendant plusieurs orbites de suite, la phase opérationnelle de

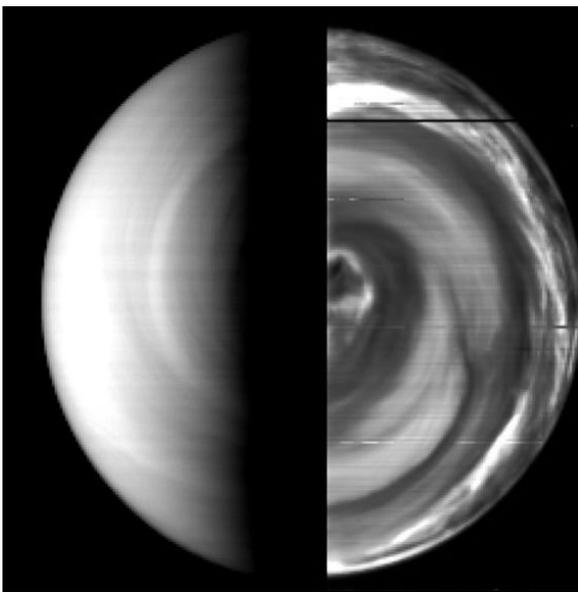


Figure 1 : Images de Vénus en couleur enregistrées par VIRTIS montrant le côté jour (à gauche) et le côté nuit (à droite) de l'hémisphère sud. Le pôle est au milieu de l'image. Un absorbeur d'ultraviolet encore inconnu qui serait présent au niveau des nuages serait responsable des contrastes observés du côté jour, alors que l'image côté nuit montre la radiation émise par la surface et la basse atmosphère et atteignant l'instrument. Cette quantité de radiation est directement liée à l'épaisseur variable de la couverture nuageuse.

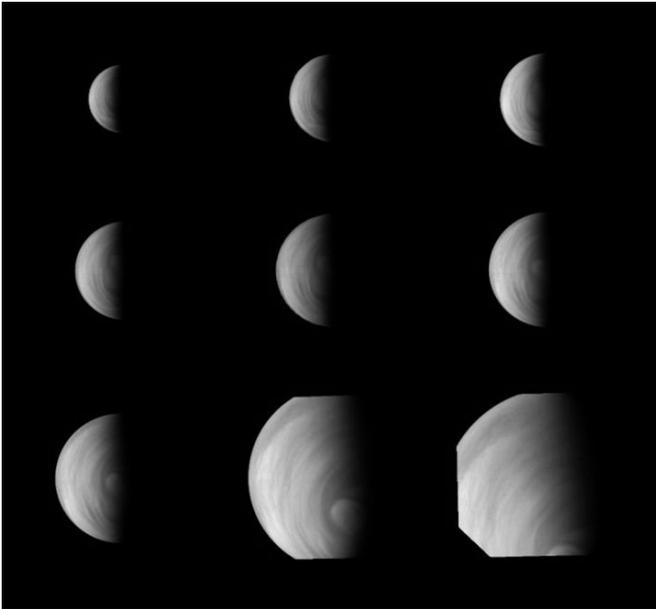


Figure 2: Vue ultraviolette de Vénus prise par l'instrument VMC lors d'une orbite typique, alors que le satellite se rapproche de la planète.

la mission a débuté en juin 2006. Durant ces tests préliminaires, des problèmes ont été mis en évidence. Il est notamment apparu que l'instrument PFS (*Planetary Fourier Spectrometer*) ne répondait pas comme attendu: un miroir placé à l'entrée de l'instrument et qui permettait de pointer soit vers l'extérieur (vers le Soleil ou la planète) soit vers une lampe servant à la calibration, était bloqué en position 'calibration'. De plus on a découvert que la qualité des images prises par la caméra VMC (*Venus Monitoring Camera*) était détériorée. Une étude approfondie a montré que le capteur CCD de la caméra avait été exposé à la lumière directe du Soleil pendant une période de six semaines juste avant l'insertion orbitale, diminuant la sensibilité d'une partie du détecteur. Les dégâts occasionnés à la couche de protection sur la microlentille ont aussi créé d'étranges motifs de points lumineux et noirs qui changent d'orbite à orbite et rendaient impossible l'analyse des images. Heureusement une solution a été trouvée grâce aux particularités propres des nuages de Vénus: dans les régions polaires,

ces nuages ne présentent aucun contraste sur des échelles de longueurs inférieures à environ 100 km. Seules les images prises du côté jour sous lumière réfléchie sont en fait impactées et présentent des taches. En accumulant

des images sans contraste des pôles, on a pu construire un 'champ plat' (*flat field*), utilisé pour corriger toutes les autres images. Ce 'champ plat' est d'autant meilleur qu'il est construit sur un grand nombre d'images de manière à diminuer le bruit de fond.

La mission nominale de Venus Express consistait en 500 jours terrestres, soit environ 2 jours sidéraux sur Vénus. La mission a été étendue plusieurs fois et la dernière extension approuvait la mission jusque fin 2015. Une des grandes inconnues était la quantité de fuel restante disponible pour les diverses manœuvres qui maintiennent le satellite sur son orbite très particulière. Contrairement aux voitures ou aux avions, les satellites ne possèdent pas de jauge à carburant. Il est donc impossible de suivre au jour le jour la consommation exacte. Les ingénieurs se basent essentiellement sur des estimations, des prédictions. Il était donc connu que le satellite pouvait à tout moment s'arrêter de fonctionner par manque de fuel. C'est pourquoi, l'ESA a décidé de tester ses capacités à réaliser des manœuvres complexes et risquées en vue de la prépara-

tion de missions futures, telles ExoMars. En juin a donc débuté une phase de «freinage atmosphérique», autrement dit un plongeon contrôlé dans l'atmosphère de Vénus. Durant l'été, le satellite a ainsi «surfé» dans et hors de l'atmosphère, à chacune de ses approches au plus près de la planète, entre 130 km et 135 km (voir aussi l'article de V. Wilquet et M. Kruglanski dans ce même numéro).

Ayant survécu à cette expérience, la sonde Venus Express est remontée fin juillet sur une nouvelle orbite, à environ 460 km, pour poursuivre ses observations. Cette orbite s'est dégradée lentement sous l'effet de la gravité, et l'ESA a décidé de réaliser fin novembre une nouvelle série de manœuvres pour la relever et prolonger encore la mission.

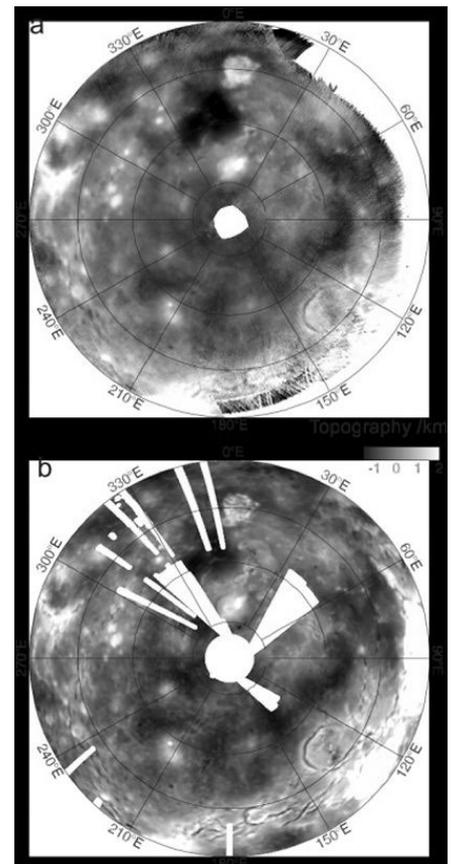


Figure 3: Cartes topographiques obtenues par Magellan (en haut) et Venus Express (en bas) qui indiquent un déplacement de certaines structures

Mais depuis le 28 novembre, les contacts avec la sonde sont très limités et instables. Les informations disponibles apportent la preuve d'une perte de contrôle de l'altitude de la sonde. Il est donc vraisemblable que Venus Express ait épuisé ses réserves de carburant lors des manœuvres planifiées. La fin de la mission a été officiellement déclarée en décembre 2014.

Cependant, on peut parler d'une vraie réussite. Pendant sa mission autour de Vénus, Venus Express a fourni une étude complète de l'ionosphère et de l'atmosphère de la planète. Elle nous a aussi appris énormément sur sa surface.

Découvertes

Une chose est sûre: l'atmosphère de Vénus est extrêmement variable, sur des échelles de temps courtes (quelques jours) mais aussi plus longues. Nous avons accès à plus de 8 années de données maintenant, il nous est donc possible de regarder des fluctuations à long terme. Cependant cette variabilité est encore un mystère. Rien ne permet de l'expliquer: il n'y a en effet pas de saisons sur Vénus car son orbite autour du Soleil est quasi circulaire et son axe de rotation est peu incliné (tout comme celui de la Terre, d'ailleurs).

Les observations réalisées par Venus Express ont permis de découvrir de nouveaux aspects de Vénus et ainsi d'aider à mieux comprendre son origine, son évolution, les interactions entre son atmosphère et sa surface. Parmi les découvertes significatives on peut citer :

- **Le taux de rotation de la planète est en train de changer** – ceci a été mis en évidence par des images de la surface de la

planète obtenues par l'instrument VIRTIS. En comparant les cartes obtenues par VIRTIS et celles réalisées par Magellan il y 16 ans (Figure 3), les chercheurs ont découvert que des éléments de relief étaient déplacés de près de 20 km, ce qui a été interprété comme un changement de la vitesse de rotation de la planète sur elle-même. La durée actuelle d'un jour vénusien est donc 6,5 minutes plus longue que celle du temps de Magellan.

- **Vénus est toujours en train de perdre une partie de son atmosphère des côtés jour et nuit:** du côté nuit, on pense que c'est la vapeur d'eau réduite en ses éléments (hydrogène et oxygène) qui s'échappe. Du côté jour, le magnétomètre de l'instrument ASPERA a détecté l'échappement d'hydrogène.
- **Possible volcanisme récent** – mis en évidence par la détection par VIRTIS de points chauds correspondant à des régions de haute émissivité sur la surface.
- **La vitesse des vents est en train de croître** – ces vitesses ont été mesurées grâce à l'analyse de séries d'images ultra-

violettes de la caméra VMC. Pour rappel, Vénus est complètement recouverte par une couche nuageuse qui se déplace à très grande vitesse et dans le sens contraire de la rotation de la planète, c'est ce qu'on appelle la super-rotation, car ces nuages mettent 4 jours pour faire un tour complet. En suivant des structures particulières des nuages, on a pu mesurer la vitesse à laquelle elles se déplacent. Cette vitesse a augmenté de près de 30 % en 6 ans (Figure 4).

- **Structures dynamiques de la circulation hémisphérique des vortex** – les images de la caméra VMC ont permis de mettre en évidence des similarités entre les vortex sur Vénus et les cyclones tropicaux. Des observations à haute résolution de VIRTIS ont montré en outre que la structure du vortex au pôle sud était très complexe: la forme du centre du vortex est très variable et sa morphologie changeante sur des échelles de temps de l'ordre du jour; ce centre est de plus décalé par rapport au pôle sud géographique et tourne autour de celui-ci avec une période comprise entre 5 et 10 jours terrestres; il en est séparé d'environ 3 degrés, c'est-à-dire plu-

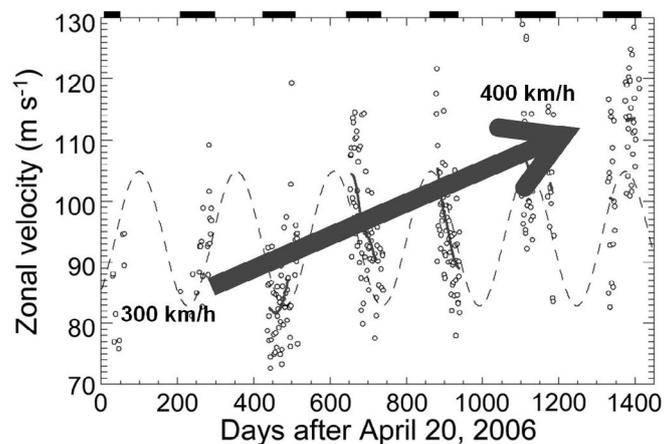


Figure 4: Augmentation de la vitesse des vents zonaux de 30% en 6 ans. Crédits : Khatuntsev et al. (2013)

sieurs centaines de kilomètres.

- **Signaux électriques indicatifs de l'existence de foudre et d'éclairs** – observés par le magnétomètre MAG.
- **Confirmation de l'importance de l'activité solaire et des interactions avec le rayonnement solaire.**
- **Présence d'une couche d'ozone située entre 90 et 120 km** - détectée du côté nuit grâce aux observations en occultation stellaire dans l'ultraviolet (instrument SPICAV). Ces mesures suggèrent que l'ozone est produit du côté jour et ensuite transporté du côté nuit par les vents.
- **Les températures les plus froides observées, régnant au sein d'une atmosphère planétaire** (100 K vers 125 km au terminateur, la séparation entre le côté jour et le côté nuit) – grâce aux observations réalisées par l'instrument SOIR (Figure 5).

Venus Express a opéré sans problème pendant 3989 jours, c'est-à-dire 13,3 années vénusiennes, ou encore 12,3 rotations de la planète, soit 25,6 jours solaires vénusiens. Venus Express a accumulé des données pendant 2989 orbites jusqu'au 27 no-

vembre 2014, qui marque la fin des contacts. La prise de mesures était en effet interrompue périodiquement à cause de problèmes de communication vers la Terre, lorsque Vénus passait trop près du Soleil (vu de la Terre). Plusieurs fois, le satellite a plongé dans l'atmosphère de façon contrôlée pour des expériences de freinage atmosphérique (*aerobraking*). Cette modification de l'orbite a permis à la sonde d'atteindre des altitudes situées entre 130 et 200 km, une région de l'atmosphère autrement difficile à sonder.

La mission a produit une masse de données qui se compte en Téra octets, supérieure à la quantité de données accumulées par les missions précédentes. Les données recueillies continueront à être analysées dans les années à venir. En effet, les nouveaux résultats suscitent déjà de nouvelles questions, qui s'ajoutent à toutes celles qui se posaient avant la mission:

- Quelles sont les abondances des différents isotopes des gaz rares? - ceci permettrait de mieux comprendre les origines et l'évolution de Vénus;
- Quelle est l'identité de l'absorbant ultraviolet toujours inconnue qui semblerait se trouver dans les nuages de Vénus?
- Y-a-t-il aujourd'hui du volca-

nisme actif sur la planète?

- Qu'est-ce qui maintient la super-rotation de l'atmosphère?
- Vénus a-t-elle eu un satellite naturel dans son histoire?
- Vénus a-t-elle jamais tourné dans le sens direct? Et si oui, comment en est-elle arrivée à tourner dans l'autre sens?
- Comment Vénus a-t-elle perdu son eau?
- La vie a-t-elle jamais existé sur Vénus?
- De toutes les planètes, Vénus est celle qui présente la topographie la moins contrastée : il y a environ 2 km entre le relief le plus bas et le plus haut, alors que sur Mercure cette différence est de 10 km environ, sur Terre de 15 km, sur la Lune de 20 km et elle atteint 30 km sur Mars. Est-ce qu'un épisode catastrophique de volcanisme a recouvert entièrement l'ancienne topographie?

Perspectives et missions futures

Ces questions devront être adressées par des missions futures vers la planète. Pour y répondre, il faudra développer des instruments capables de collecter des données variées sur de longues périodes de temps. Des idées et concepts de missions intègrent divers éléments, comme des orbiteurs, des plates-formes volantes, des ballons, des sondes entrantes et des atterrisseurs. Parmi ces éléments, les plates-formes volantes représentent une nouvelle approche qui permettrait d'effectuer des mesures dans cette région de l'atmosphère de Vénus située entre 55 et 75 km au-dessus de la surface qui correspond au système nuageux vénusien et est difficile d'accès par des instruments de télédétection. Ces plates-formes

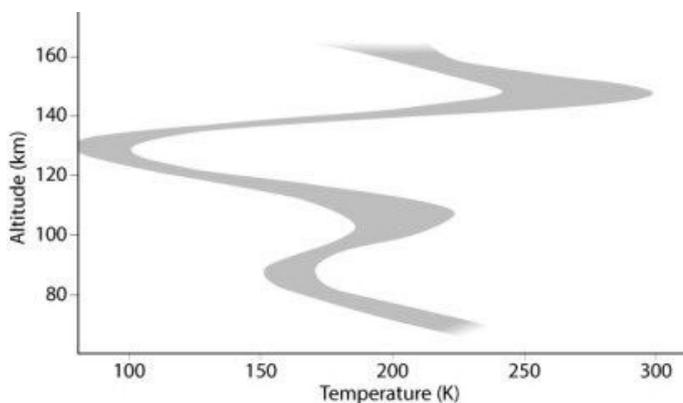


Figure 5: Profil moyen de température obtenu à partir des mesures réalisées par l'instrument SOIR. SOIR observe en occultation solaire et ce profil correspond à ce qui se passe au terminateur (la séparation entre les côtés jour et nuit). Crédits : ESA/AOES, IASB.

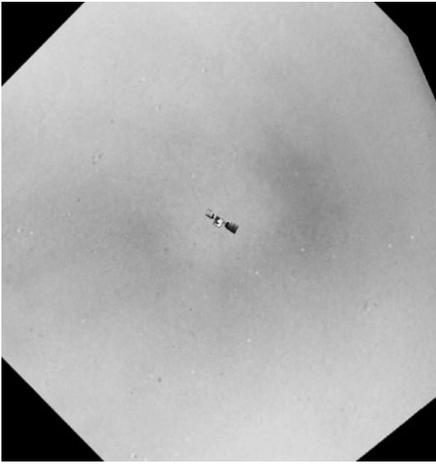


Figure 6: Cette image réalisée par la caméra VMC montre une gloire, c'est-à-dire un phénomène optique ayant la forme d'une ellipse aux couleurs de l'arc-en-ciel. Il s'agit d'une ou plusieurs séries d'anneaux colorés vus par un observateur autour de son ombre portée sur un nuage. Une gloire est provoquée par la rétrodiffusion de rayons lumineux passant dans les gouttelettes d'eau d'un nuage, d'un brouillard ou même de la rosée. Elle apparaît lorsque l'observateur se trouve entre le Soleil et la source de rétrodiffusion. Elle est visible sous forme d'un halo qui entoure l'ombre de l'observateur. Elle n'est visible que pour ce dernier ou quelqu'un dans la même ligne de visée car l'intensité de la rétrodiffusion devient nulle rapidement dès qu'on s'éloigne vers la droite ou la gauche. Cette image est une image composite combinant trois images distinctes prises par la caméra avec trois filtres différents. L'image du satellite y a été artificiellement ajoutée, Venus Express était cependant en réalité bien trop éloigné de Vénus pour y projeter son ombre. Crédits: Lena Petrova (Space Research Institute, Moscow, Russia) and Oksan Shalygina (Max Planck Institute for Solar System Research, Gottingen, Germany). (Version en couleurs en page 2 de couverture)

profiteraient de l'énergie solaire pour s'y maintenir et se déplacer. Plusieurs études de conception ont été réalisées basées sur l'utilisation de dirigeables remplis d'hélium ou d'hydrogène, qui flotteraient dans l'atmosphère de Vénus. Ils pourraient y survivre de longues périodes. Ces plates-formes sont d'autant plus attrayantes que les conditions à la surface de la planète représentent un défi pour la survie d'équipements plus de quelques heures. En outre elles offrent une certaine mobilité et permettent d'embarquer une grande charge utile, donc de nombreux instruments. La communication vers la Terre se ferait cependant via un orbiteur en attente près de Vénus. Des missions plus courtes pourraient également être entreprises avec l'envoi d'êtres humains pour assister aux manœuvres et prises de mesures. Une mission courte pourrait tenir en moins d'un an: 3 mois

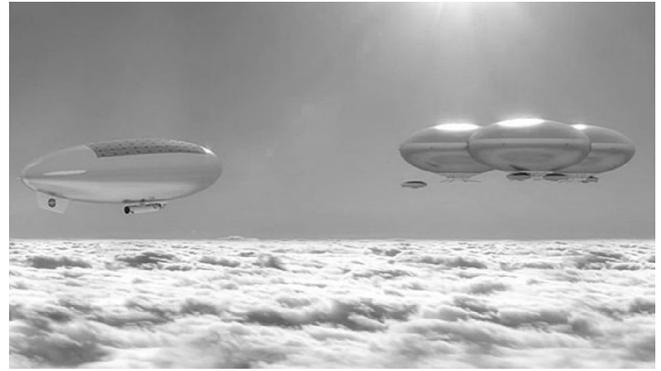


Figure 7: Le concept HAVOC étudié par le 'NASA/Langley Research Center' utilise des dirigeables très légers en vue d'une exploration robotique mais aussi humaine de Vénus. Ils pourraient également être les précurseurs de vols plus longs en vue de l'exploration de Mars.

de voyage aller, déploiement du dirigeable et mesures pendant 1 mois, et ensuite le retour qui pourrait prendre plus de temps que l'aller.

D'autres concepts sont aussi étudiés, comme l'envoi d'avions, qui seraient injectés balistiquement directement dans l'atmosphère (Figure 8).

Les missions VEGA 1 et VEGA 2 (1984) de l'Union Soviétique ont démontré que l'utilisation de ballons permet des observations pendant plusieurs jours. Ce type de missions est cependant limité par leur charge utile réduite et les

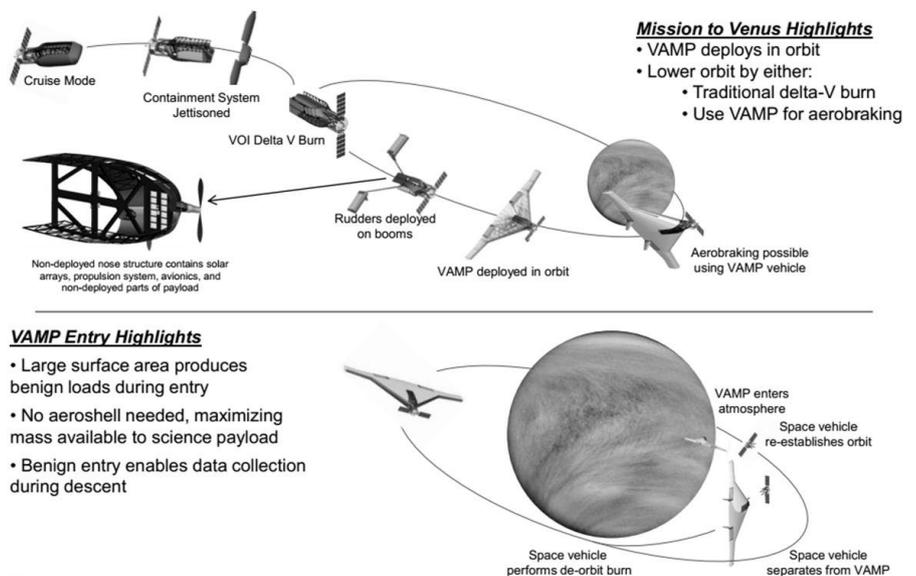


Figure 8: Illustration de la plate-forme VAMP (Venus Atmospheric Mobile Platform), un avion planeur.

communications difficiles vers la Terre. Les matériaux disponibles de nos jours ainsi que les progrès technologiques suggèrent que les ballons actuels peuvent supporter ces conditions de température qui existent dans la région vers 50 km d'altitude et y survivre plusieurs semaines. Des véhicules semi-planeurs remplis d'hydrogène ou d'hélium peuvent opérer dans une zone plus large et pourraient y survivre pendant de plus longues périodes allant jusqu'à plusieurs mois. Ils sont en outre plus manoeuvrables grâce à leur moteur électrique embarqué dont l'énergie nécessaire proviendrait de panneaux solaires placés sur les faces inférieures et supérieures de l'engin. Pendant la nuit, le véhicule descendrait de quelques kilomètres dans l'atmosphère car les moteurs ne seraient plus alimentés par l'énergie solaire. Ils pourraient alors planer à des altitudes plus basses jusqu'au moment où le Soleil réapparaîtra. La longue durée de la mission allée à la charge utile de l'ordre de quelques kilogrammes d'instruments scientifiques, permettrait à un tel engin d'observer la surface et les changements de celle-ci qui pourraient être associés au volcanisme, suspecté, mais toujours pas observé.

Les observations de Vénus réalisées lors de survols dédiés à la planète (Mariner2, Mariner5) ou en route vers d'autres destinations (Galileo, Cassini) ont aussi recueillis bon nombre de résultats intéressants. Dans le fu-

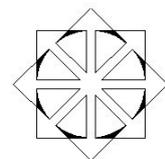
tur, d'autres missions utiliseront également Vénus lors de leurs manoeuvres d'assistance gravitationnelle pour rejoindre leur objectif premier. Trois missions – Solar Orbiter et Bepicolombo de l'ESA, Solar Probe Plus de la NASA – vont prochainement survoler Vénus à des distances comprises entre 300 et 10000 km et auront ainsi l'occasion d'observer Vénus. Cependant ceci doit se faire sans modifier la charge utile définie pour ces missions. Ce sera donc aux scientifiques d'être inventifs pour utiliser les instruments présents qui ne sont pas nécessairement optimisés pour de telles mesures.

Actuellement la seule mission vers Vénus est la sonde japonaise Akatsuki/Venus Climate Orbiter qui tentera à nouveau une insertion en orbite en décembre 2015. Rappelons qu'Akatsuki avait malencontreusement manqué sa première tentative en 2010 suite au mauvais fonctionnement d'un moteur (Vandaele, 2010). Depuis elle attend, tournant autour du Soleil le temps nécessaire pour être à nouveau positionnée correctement par rapport à Vénus.

Aucune autre mission vers Vénus n'a été sélectionnée par l'une ou l'autre des agences spatiales, mais beaucoup de propositions existent, en tout cas sur papier. Un projet de mission orientée vers l'étude de la géologie et de la surface ainsi que la détection de volcanisme actif a été soumis à l'ESA. Il s'agit de la mission

EnVision, qui, si elle est sélectionnée, sera lancée en 2025! L'un des instruments proposés pourrait être du type 'SOIR', modifié pour observer la radiation émise par la surface. SOIR serait alors en mesure de détecter des espèces telles que la vapeur d'eau ou le dioxyde de soufre au niveau de la surface. Ces espèces sont primordiales pour comprendre l'origine du soufre dans l'atmosphère de Vénus et pour les relier, pourquoi pas, à l'existence d'un volcanisme actif. La mission a donc le soutien de nombreux chercheurs belges, en particulier au Pôle Espace de Bruxelles. Vous pouvez vous aussi soutenir la proposition en vous inscrivant sur la page d'accueil de la mission (<http://www.envisionm4.net/>).

En attendant ces missions futures encore hypothétiques, il nous reste heureusement une quantité incroyable de données recueillies pendant la mission Venus Express. Elles nous promettent encore quelques années de travail !



Références

- Khatuntsev, I. et al., *Cloud level winds from the Venus Express monitoring camera imaging*, Icarus, 226(1), 140-158 (2013)
- Sanjay, L., *L'exploration de Vénus : Pourquoi ?*, Ciel et Terre 123, 162-168 (2007)
- Vandaele, A.C., *La mission Venus Express*, Ciel et Terre 121, 162-167 (2005)
- Vandaele, A.C., *Venus Express, bilan de deux années fructueuses*, Ciel et Terre 123, 169-180 (2007)
- Vandaele, A.C., *Akatsuki arrive à Vénus mais rate sa mise en orbite*, Ciel et Terre 126, 183-185 (2010)
- Vandaele, A.C., *De l'ozone sur Vénus aussi*, Ciel et Terre 127, 178 (2011)
- Vandaele, A.C., *Circulation et dynamique étonnantes sur Vénus*, Ciel et Terre 128, 145-150 (2012)