

LA MISSION VENUS EXPRESS

Ann C. Vandaele

Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique

La sonde européenne Venus Express a été placée avec succès sur sa trajectoire en direction de Vénus, qu'elle atteindra en avril 2006. Après Mars Express, c'est la deuxième sonde lancée par l'Agence spatiale européenne à destination d'une autre planète du système solaire. Pendant près de deux ans, Venus Express va mener une étude détaillée de la structure, de la chimie et de la dynamique de l'atmosphère de la planète. Celle-ci est caractérisée par des températures extrêmes, un effet de serre très important et un mouvement de « super-rotation » encore incompris. Mais la sonde va également s'intéresser de plus près à la surface de la planète et sera à la recherche de preuves d'une éventuelle activité volcanique.

Le lancement

Ce mercredi 9 novembre 2005, la sonde européenne Venus Express s'est envolée vers Vénus à l'aide d'une fusée Soyouz-Frégate. Le lancement a été réalisé à partir du cosmodrome de Baïkonour. L'injection de la sonde sur sa trajectoire, qui la mènera autour de Vénus en avril 2006, s'est déroulée en trois phases. Lors de la première phase, qui a duré 9 minutes, la fusée et la sonde ont volé sur une trajectoire ascensionnelle pratiquement verticale au cours de laquelle les trois étages de la fusée se sont séparés, propulsant Soyouz à environ 190 kilomètres d'altitude. Ensuite, l'ensemble Frégate-Venus Express, entre-temps séparé de Soyouz, a été injecté sur une orbite d'attente circulaire autour de la Terre. Enfin, à peu près une heure et 20 minu-

tes après le décollage et après un tour pratiquement complet de la Terre, le moteur Frégate s'est allumé pour quitter l'orbite terrestre et se diriger sur la trajectoire interplanétaire qui l'amènera vers Vénus. Après cette mise à feu, le lanceur Frégate a doucement libéré la sonde.

Environ deux heures après le lancement, le contact a été établi avec Venus Express par le Centre européen d'Opérations spatiales (ESOC) de l'ESA à Darmstadt, en Allemagne. La sonde s'est correctement orientée par rapport au Soleil et a déployé ses panneaux solaires. Tous les systèmes de bord fonctionnent parfaitement et la sonde communique avec la Terre via son antenne à faible gain.

Venus Express va passer 153 jours sur son orbite interplanétaire.

Durant le voyage jusqu'à Vénus, la sonde sera contactée sur base journalière via son antenne à grand gain. En milieu de course, un réajustement de la trajectoire sera éventuellement réalisé. Et, enfin, un dernier ajustement sera opéré au moment de son insertion dans l'orbite autour de Vénus. A l'arrivée, la sonde utilisera son moteur principal pour réduire sa vitesse de manière à être piégée par le champ gravitationnel de la planète. Venus Express devra affronter des conditions plus extrêmes que son homologue martien. En effet, Vénus est 7,6 fois plus massive que Mars et son champ gravitationnel est en conséquence. Pour compenser cette gravité plus forte, la sonde va devoir allumer son moteur pendant 53 minutes afin de décélérer. Elle se placera sur une orbite très elliptique autour de la planète. L'essentiel de ses 570 kg d'ergols embarqués sera consommé à cette occasion. Un second allumage sera nécessaire pour atteindre l'orbite opérationnelle définitive : une orbite polaire parcourue en 12 heures, s'approchant jusqu'à 250 km de la planète et s'en éloignant jusqu'à 66 000 km. Cette orbite permettra des observations tant rapprochées que globales.

La mission de Venus Express devrait durer au moins deux jours vénusiens, soit 486 jours terrestres, et pourra être prolongée en fonction de l'état de la sonde.

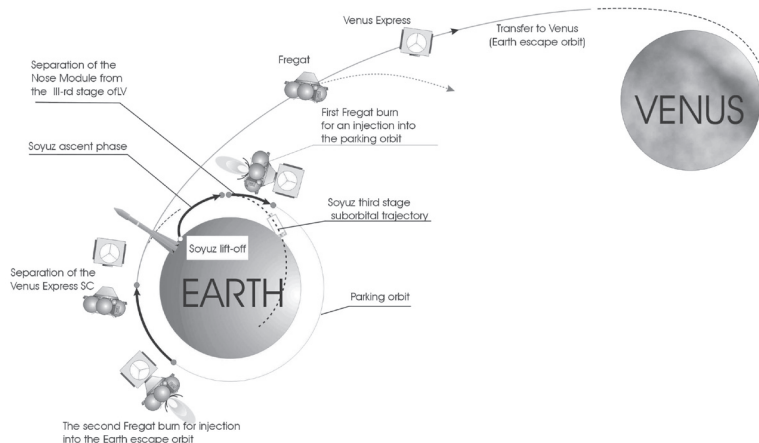


Figure 1: Mise en orbite de Venus Express (Crédits: ESA)

Les instruments

Venus Express est un projet qui remonte à décembre 2001. Jamais un satellite scientifique de l'ESA n'a été fabriqué aussi rapidement puisqu'il a fallu moins de quatre ans au consortium pour mener le projet à bien, de la conception au lancement. La sonde Venus Express a été conçue à partir des missions Mars Express, qui étudie l'atmosphère de la planète rouge, ainsi que la géologie de sa surface, et Rosetta, dédiée à l'analyse du noyau de la comète Churyumov-Gerasimenko. C'est en 2001 que des études ont débuté sur la faisabilité de réutiliser la plate-forme de Mars Express. L'ESA a lancé un appel à idées en mars de cette année : il s'agissait d'identifier la possibilité de développer une mission à faible coût autour de la plate-forme existante.

La réutilisation de la plate-forme explique également la rapidité du développement de la mission. La plate-forme, qui avait été déve-

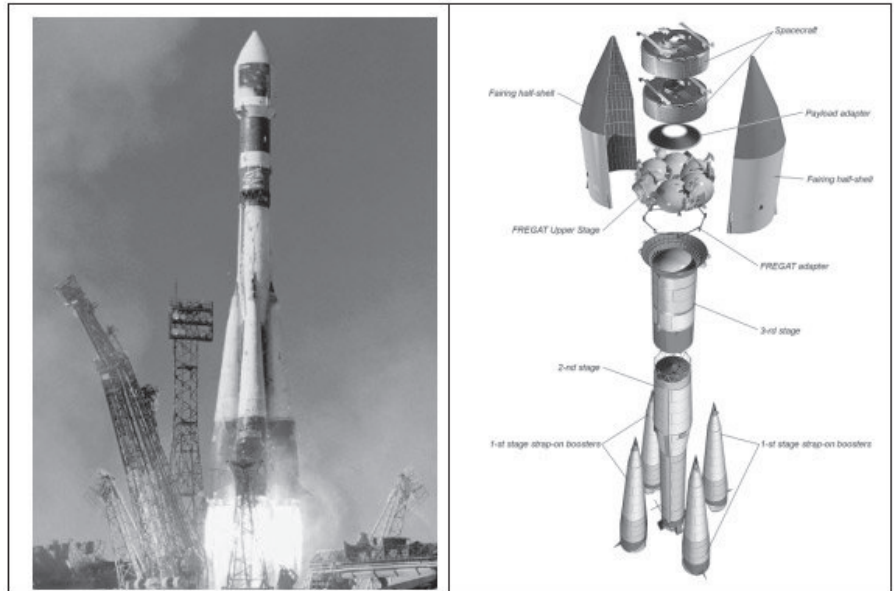


Figure 2: La fusée Soyouz-Frégate et son chargement. (Crédits: ESA)

loppée spécifiquement pour Mars Express, a été aménagée pour convenir à une mission autour de Vénus. Ce sont, en outre, les mêmes équipes qui ont travaillé sur les deux missions de sorte que la plate-forme a été utilisée au maximum de ses capacités.

Toutefois, les conditions qui rè-

gnent autour de Vénus sont très différentes de celles rencontrées autour de Mars. Le flux solaire y est quatre fois plus intense. La sonde a donc été adaptée pour son nouvel environnement. La plus grande modification a concerné l'ensemble du contrôle thermique. Alors que sur Mars Express on tentait de conserver de la chaleur pour assurer le bon fonctionnement de son électronique, Venus Express, va devoir en dissiper un maximum. Les panneaux solaires de la sonde ont été entièrement reconçus : ils sont plus courts et les rangées de cellules solaires alternent avec des miroirs pour réfléchir une partie de la lumière solaire et éviter ainsi des pointes de températures pouvant atteindre 250°C. Il a même été nécessaire de protéger la partie arrière des panneaux solaires, celle qui reste normalement dans l'ombre, pour évacuer la chaleur due au rayonnement solaire réfléchi par l'atmosphère de Vénus.

Outre la plate-forme, sur les sept instruments embarqués, six sont dérivés de Mars Express et de Rosetta. La charge utile de la sonde consiste notamment en une combinaison de différents spectromètres, spectro-imageurs,

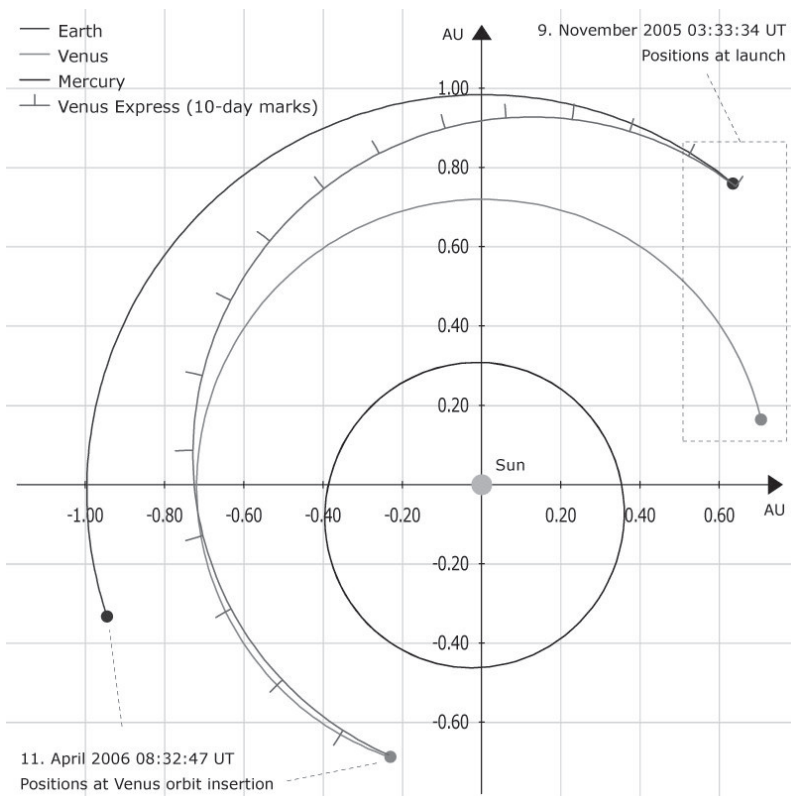


Figure 3: Le voyage de Venus Express et son insertion autour de Vénus. (Crédits: ESA)

et d'imageurs, couvrant l'ensemble du domaine spectral depuis l'ultraviolet jusqu'à l'infrarouge thermique. Ils sont complétés par un analyseur de plasma et un magnétomètre.

- Le Spectromètre de Fourier à haute résolution dans l'infrarouge (PFS) mesurera la température de l'atmosphère entre 55 et 100 kilomètres d'altitude avec très grande résolution verticale. Il relèvera également la température de surface, permettant peut-être la détection d'activité volcanique. Cet instrument analysera aussi la composition de l'atmosphère vénusienne ;
- Le spectromètre imageur dans l'ultraviolet et le proche infrarouge (VIRTIS) étudiera la composition de la basse atmosphère, sous la couverture nuageuse. Il observera les nuages dans les domaines ultraviolet et infrarouge, permettant ainsi d'analyser la dynamique atmosphérique à différentes altitudes ;
- L'analyseur de plasma et d'atomes neutres à haute énergie (ASPERA) mesurera les particules s'échappant de l'atmosphère de Vénus et celles du vent solaire. Il permettra ainsi d'étudier les interactions existant entre ces différentes particules, ainsi que le

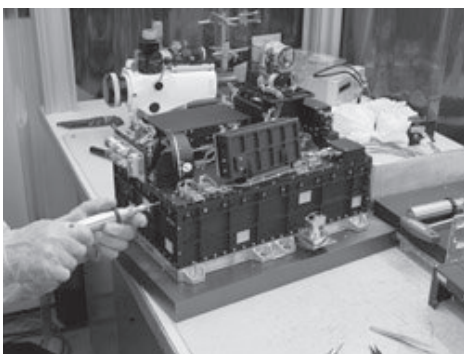


Figure 5: L'instrument SPICAV/SOIR (Crédits: IASB)

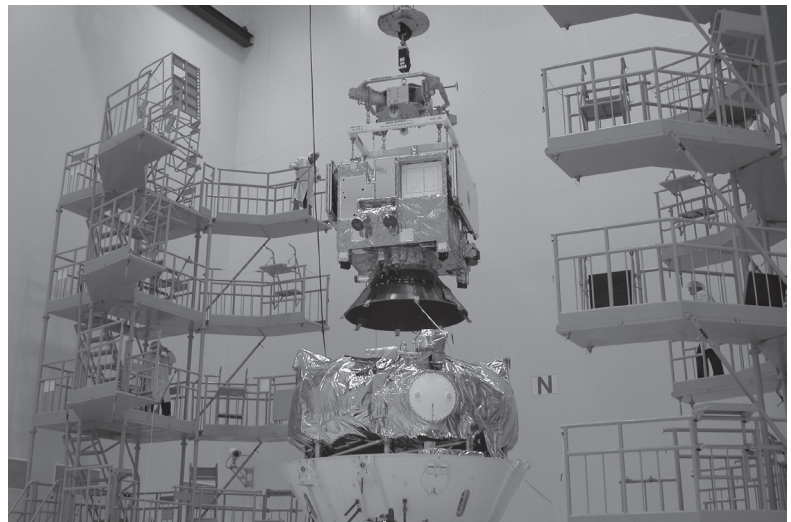


Figure 4: Venus Express est placée au sommet de la fusée (Crédits: ESA)

mécanisme d'échappement des molécules et des ions ;

- L'expérience de radio science pour Vénus (VERA) utilisera la puissante liaison entre la sonde et la Terre pour analyser les caractéristiques de l'ionosphère de Vénus. Cet instrument sera notamment utilisé pour évaluer la masse, la densité, la température et la pression de l'atmosphère entre 35 et 100 kilomètres et pour déterminer la rugosité et les propriétés électriques de la surface. Il pourra en outre étudier les particularités du vent solaire. L'Observatoire Royal de Belgique participe à la mission Venus Express et va plus particulièrement utiliser les données de l'expérience de radio science VERA pour étudier la répartition des masses à l'intérieur de la planète. Cette répartition est liée aux mouvements lents des matériaux dans le manteau visqueux de Vénus, à la forme de sa surface et à sa topographie ;
- La caméra pour la surveillance de Vénus (VMC) est une caméra multivoie à grand angle qui prendra des photographies de Vénus dans le proche infrarouge, l'ultraviolet et

le visible. La caméra pourra prendre des images à l'échelle globale et cartographier la surface et permettra d'étudier la dynamique des nuages et d'identifier les phénomènes observés par les autres instruments. Il s'agit d'un instrument spécialement conçu pour cette mission;

- Le magnétomètre (MAG) permettra de mieux comprendre le champ magnétique externe de Vénus, entièrement dû à l'interaction entre le vent solaire et l'atmosphère de la planète, puisque celle-ci ne possède pas de champ magnétique interne décelable. Cet instrument a été mis au point pour cette mission, mais réutilise le concept du capteur de l'atterrisseur de Rosetta ;
- Le spectromètre dans l'ultraviolet et l'infrarouge pour occultations solaires et stellaires et observation au nadir (SPICAV/SOIR) contribuera à l'analyse de l'atmosphère de Vénus en détectant les petites quantités d'eau qu'on s'attend à y trouver. Il recherchera également des composés sulfurés et de l'oxygène moléculaire. Il établira la densité et la température de l'atmos-

Comparaison des paramètres caractéristiques de Vénus et de la Terre

Paramètre	Vénus	Terre
Distance moyenne au Soleil (km)	108 200 000	149 600 000
Diamètre équatorial (km)	12 103,6	12 756,3
Masse (kg)	$4,869 \times 10^{24}$	$5,972 \times 10^{24}$
Densité (kg m^{-3})	5,24	5,52
Période de rotation sidérale	243 jours terrestres	23h 56m
Période de révolution sidérale (jours terrestres)	224,7	365,25
Atmosphère	96% CO_2 3% N_2	77% N_2 21% O_2
Vitesse de libération (km s^{-1})	10,36	11,18
Accélération de la pesanteur (m s^{-1})	8,87	9,81
Inclinaison de l'axe de rotation ($^\circ$)	177,36	23,5
Inclinaison sur l'écliptique ($^\circ$)	3,39	0,00
Excentricité de l'orbite	0,007	0,017.

phère entre 80 et 180 kilomètres d'altitude. SPICAV est directement dérivé de l'instrument SPICAM à bord de Mars Express, et comme lui a été développé dans le cadre d'un accord international de coopération entre la France, la Belgique et la Russie. En plus des canaux existant sur SPICAM, SPICAV est doté d'un canal infrarouge (SOIR) spécialement conçu pour les observations de la lumière solaire passant au travers de l'atmosphère vénusienne. SOIR est un développement entièrement belge. Il a été

conçu à l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique.

Différents modes de visée sont prévus, qui dépendent de la configuration de la charge utile et de l'orientation de la sonde. En mode de visée au nadir, l'instrument pointe directement vers la planète et analyse le rayonnement solaire qui a traversé toute l'épaisseur de l'atmosphère et s'est réfléchi sur la surface. L'instrument peut également viser directement soit le Soleil soit une autre étoile. Le rayonnement de la source (le Soleil ou l'étoile) traverse alors tangentiellement

l'atmosphère avant d'atteindre le détecteur. En mode de visée au limbe, l'instrument sonde l'atmosphère sans viser une source de lumière. L'instrument analyse dès lors, le rayonnement propre de l'atmosphère.

Pourquoi Vénus ?

Vénus, la seconde planète depuis le Soleil, est située à environ 108 millions de kilomètres de celui-ci. Elle est souvent décrite comme la planète-sœur de la Terre, à cause des nombreuses similarités qui existent entre les deux planètes : taille, masse, densité et volume sont en effet très similaires. Les scientifiques pensent que les deux planètes ont une origine commune et auraient été formées par la condensation de la nébuleuse à la même époque, il y a 4,5 milliards d'années.

Du point de vue de sa structure, Vénus est une planète tellurique, tout comme la Terre. Elle serait composée d'un noyau interne solide, la graine, entouré d'un noyau externe liquide et d'un manteau solide et visqueux, le tout entouré d'une croûte solide. La graine et le noyau liquide seraient composés de fer et de nickel. Si la

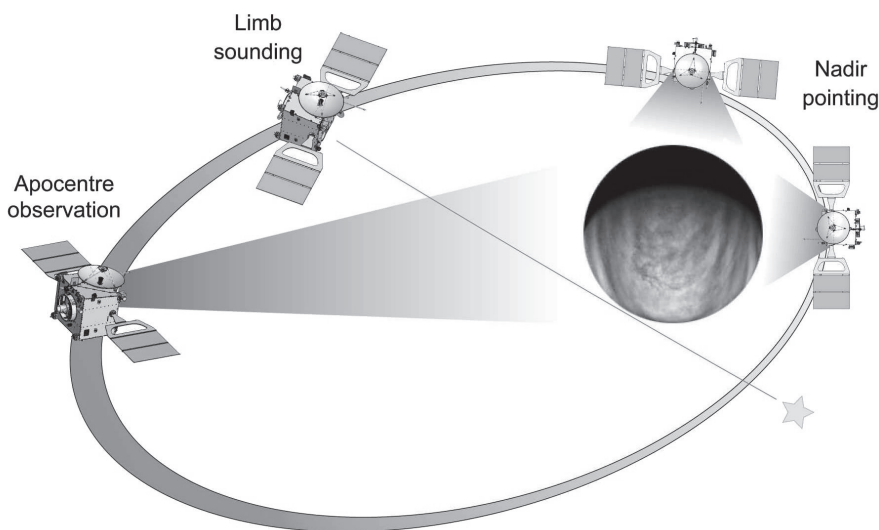


Figure 6: Différents pointés utilisés lors de la mission. (Crédits: ESA)

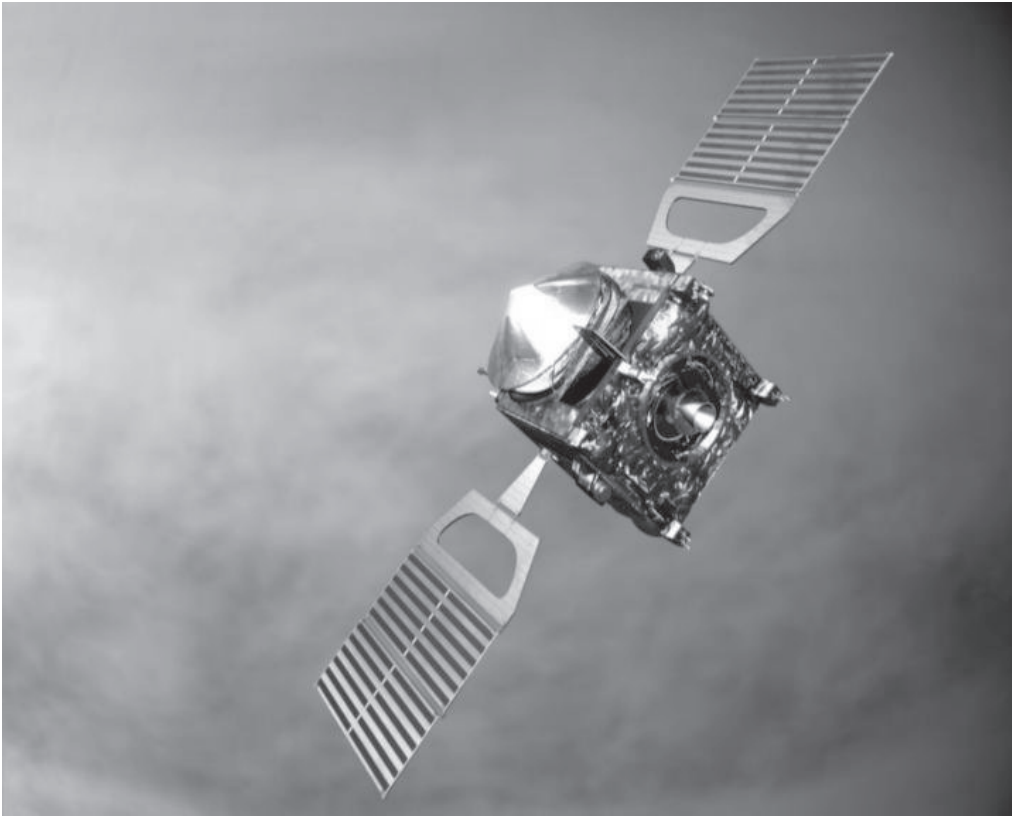


Figure 7: *Vénus Express en route pour Vénus. (Crédits: ESA)*

structure de la Terre est similaire, la rotation de son cœur entraîne l'apparition d'un champ magnétique. Or rien de tel n'existe sur Vénus : soit le champ magnétique est très faible, ce qui expliquerait qu'il n'ait pas encore été décelé, soit il n'y en a pas. Ceci explique que la planète n'est pas protégée du vent solaire. Celui-ci n'est pas dirigé autour de la planète, mais s'abat directement sur l'atmosphère de Vénus.

Mais ce sont bien les seules caractéristiques que ces deux planètes partagent. Vénus ne possède pas d'eau sur sa surface ; son atmosphère toxique et dense est composée essentiellement de dioxyde de carbone, avec des nuages d'acide sulfurique ; la pression à sa surface est 90 fois celle régnant sur la Terre au niveau de la mer.

Vers 60 kilomètres d'altitude se trouve une couche épaisse de nuages : une couche de 20 kilomètres d'épaisseur qui recouvre l'entiè-

reté de la planète. Elle sépare les couches de la basse atmosphère de celles de la moyenne atmosphère. La partie supérieure de cette couche est constituée principalement de petites gouttes d'acide sulfurique. Mais les processus chimiques se produisant dans la partie inférieure restent encore inconnus. Les nuages sur Vénus ne sont pas homogènes, et ce dans toutes les directions. Les nuages supérieurs sont caractérisés par des zones qui absorbent mystérieusement la moitié de l'énergie solaire reçue par la planète. Certains scientifiques attribuent à ce processus une origine microbienne : des microbes se nourriraient d'acide sulfurique en absorbant le rayonnement ultraviolet.

La surface de Vénus est la plus chaude du système solaire, cette température si élevée étant le résultat d'un effet de serre catastrophique provoqué par l'abondance du dioxyde de carbone : le rayonnement solaire incident piégé par

l'atmosphère induit un réchauffement important de celle-ci. La couche de nuage réfléchit environ 80% du rayonnement solaire incident vers l'espace, l'atmosphère en absorbe 10% et les 10% restants pénètrent dans l'atmosphère et vont réchauffer la surface. Le rayonnement thermique émis par la surface est également piégé dans l'atmosphère. Il en découle une différence de température surprenante de 500°C entre la surface et le sommet des nuages.

Enfin, il existe encore une différence, et de taille, entre ces deux mondes : la rotation de Vénus sur son axe. Son axe de rotation est incliné à 177,36 degrés, pour 23,5 degrés pour la

Terre. Ce qui signifie que Vénus tourne de l'est vers l'ouest, le lever de Soleil correspondant donc à l'ouest. Un jour sur Vénus dure 243 jours terrestres, alors qu'une année vénusienne ne dure que 224,7 jours terrestres.

L'atmosphère tourne très rapidement autour de la planète. Au niveau du sommet des nuages, l'atmosphère effectue une rotation à une vitesse effrayante, avec des vents pouvant atteindre une vitesse de 400 km/h. A la surface, la vitesse des vents est quasi nulle : il n'y souffle qu'une légère brise à peine capable de remuer la poussière. Deux énormes vortex effectuent une rotation en ayant une forme et un comportement complexes autour des pôles. Le vortex qui se trouve au pôle Nord, le seul qui puisse être observé en détails, prend la forme particulière de deux yeux entourés par un collier d'air froid. Il effectue une rotation complète en à peine trois

jours terrestres.

Malgré cela, l'exploration de Vénus n'a pas suscité un grand enthousiasme, ce qui explique le faible nombre de sondes envoyées vers la planète. En décembre 1962, Mariner 2 'survole' Vénus à une distance de 41 000 kilomètres, révélant l'absence de champ magnétique et permettant de déterminer la masse de la planète. Les essais russes dans les années '60 permettent d'obtenir des données sur la pression, la température et la composition de l'atmosphère. En février 1974, Mariner 10 devient le premier engin spatial à photographier la planète dans le domaine ultraviolet, montrant pour la première fois la dynamique complexe des nuages. Au total huit engins russes et quatre américains vont réussir à se poser sur la surface de Vénus et vont relayer des données concernant la composition chimique de l'atmosphère et de la surface. La sonde russe Venera 7 se pose la première en décembre 1970, mais n'émet que pendant une demi-heure, à cause des conditions climatiques extrêmes régnant à la surface de la planète ; Venera 9 et 10 prennent les premières images de la surface en octobre 1975. Plus tard, en mars 1982, Venera 13 prend la première photographie en couleurs et Venera 14 produit le premier panorama. La participation de la NASA au déploiement de sondes à la surface de Vénus a consisté en la mission en deux phases Pioneer Venus (1978). La première phase consistait à placer une sonde en orbite pour prendre des images à l'aide d'un radar et la seconde phase à larguer dans l'atmosphère, 3 sondes, qui ont chacune effectué une vingtaine d'expériences. Elles ont notamment obtenu des renseignements sur la pression et la température au sein des nuages de la planète. En 1983, la sonde américaine Pioneer mettait en

évidence une éruption volcanique massive, déversant des quantités énormes d'anhydride sulfureux dans l'atmosphère supérieure. En 1989, Magellan cartographie près de 99 pour cent de Vénus pendant un séjour de quatre ans autour de la planète.

D'après les données recueillies au cours de ces missions, les scientifiques ont pu se faire une idée de la surface de la planète : elle serait relativement jeune, elle aurait subi de grandes modifications il y a environ 400 millions d'années. Le relief est dominé par des structures volcaniques, de vastes plaines couvertes de lave, des régions montagneuses, des failles et des cratères. Contrairement aux autres planètes, on n'y trouve pas de cratères de moins de 2 kilomètres de diamètre. Les météorites qui auraient pu les créer ont tout simplement brûlé lors de leur descente dans l'atmosphère riche de Vénus. Les cratères observés seraient le résultat d'une fragmentation d'une large météorite juste avant l'impact avec la surface. Ce qui intrigue les scientifiques c'est que ces cratères restent intacts. Sur Terre, les traces des impacts finissent par s'effacer essentiellement sous l'effet de l'érosion. L'absence d'eau sur Vénus pourrait expliquer qu'il n'y ait pas d'érosion.

Les défis scientifiques

La mission Venus Express va étudier les caractéristiques de l'atmosphère, sa circulation, sa structure et sa composition en fonction de l'altitude, ainsi que ses interactions avec la surface et avec le vent solaire en altitude.

Venus Express est la première sonde à étudier l'ensemble de l'atmosphère de Vénus radicalement différente de celle de la Terre en raison de sa densité et de sa température très élevées. Les

modèles météorologiques de l'atmosphère terrestre ne permettent pas d'expliquer le comportement de l'épaisse couche de gaz qui entoure Vénus. Les objectifs scientifiques de la mission sont notamment :

- L'étude de l'effet de serre particulier qui règne sur Vénus ;
- L'étude des vents extrêmement violents qui parcourent en permanence la planète ;
- De déterminer les raisons de la rotation inverse de Vénus et de sa lenteur (une révolution tous les 342 jours terrestres) ;
- De comprendre l'absorption mystérieuse du rayonnement ultraviolet se produisant à une altitude proche de 80 kilomètres ;
- De comprendre pourquoi le champ magnétique est si faible ;
- D'étudier les interactions entre les particules émises par le Soleil et la haute atmosphère de Vénus ;
- La recherche de formes de vie dans l'atmosphère, essentiellement à l'intérieur des nuages de la haute atmosphère ;
- De déceler l'activité volcanique de la planète.

Comme on le voit, le programme est fort chargé. Espérons que la sonde et ses instruments se montreront à la hauteur des espérances des scientifiques.