



VÉNIUS

Introduction - Généralités
Les caractéristiques de Vénus
Les transits de Vénus
L'exploration de Vénus par les sondes
Iconographie, photos et additifs



Vénus

I Introduction – Généralités

Vénus est la deuxième des huit planètes du Système solaire en partant du Soleil, et la sixième par masse ou par taille décroissantes. La planète Vénus a été baptisée du nom de la déesse Vénus de la mythologie romaine.

Symbolisme

La planète Vénus doit son nom à la déesse de l'amour et de la beauté dans la mythologie romaine, Vénus, qui a pour équivalent Aphrodite dans la mythologie grecque. Cythère étant une épiclèse homérique d'Aphrodite, l'adjectif « cythérien » ou « cythéréen » est parfois utilisé en astronomie (notamment dans astéroïde cythérocroiseur) ou en science-fiction (les Cythériens, une race de Star Trek). Par extension, on parle d'un Vénus à propos d'une très belle femme; de manière générale, il existe en français un lexique très développé mêlant Vénus au thème de l'amour ou du plaisir charnel. L'adjectif « vénusien » a remplacé « vénérien » qui a une connotation moderne péjorative, d'origine médicale.

Les cultures chinoise, coréenne, japonaise et vietnamienne désignent Vénus sous le nom d'« étoile d'or », et utilisent les mêmes caractères (jīnxīng en hanyu, pinyin en hiragana, *kinsei* en romaji, *geumseong* en hangeul), selon la « théorie » des cinq éléments. Vénus était connue des civilisations mésoaméricaines; elle occupait une place importante dans leur conception du cosmos et du temps. Les Nahuas l'assimilaient au dieu Quetzalcoatl, et, plus précisément, à Tlahuizcalpantecuhtli (« étoile du matin »), dans sa phase ascendante et à Xolotl (« étoile du soir »), dans sa phase descendante. Les Mayas connaissaient la durée de sa révolution synodique et l'avaient mis en relation avec leur calendrier solaire, avec une marge d'erreur très faible, de l'ordre d'un jour en plus tous les 6 000 ans. Dans le *Popol Vuh*, les jumeaux Xbalamque et Hun Ahpu deviennent le Soleil et Vénus après avoir vaincu les seigneurs de Xibalba. On l'appelle souvent, improprement car il s'agit d'une planète, « l'étoile du berger » car elle peut être facilement visible dans le ciel du matin, avant le lever du Soleil ou dans le ciel du soir, après le coucher de notre étoile. Moins fréquemment, on parle de la « planète ardente » à cause de la température élevée qui règne à sa surface. Vénus est associée à vendredi parmi les jours de la semaine. Son symbole astronomique est un cercle avec une croix pointant vers le bas (♀), qui peut représenter le miroir à main de la déesse Vénus. En biologie, il est utilisé comme signe pour le sexe féminin, le cercle représentant l'utérus, et la petite croix vers le bas étant le symbole de l'accouchement ou l'origine de la vie.

Tout d'abord et en préambule, tordons le cou une bonne fois pour toutes à une aberration, une erreur beaucoup trop répandue, mais seulement en France (on ne sait d'ailleurs pas très bien pourquoi) mais cette faute, cette inexactitude flagrante se propage hélas de génération en génération. Nous parlons ici de l'appellation, peut-être poétique mais complètement infondée, qui consiste à appeler cet astre l'Étoile du Berger ...

L'Étoile du Berger, ça n'existe pas ! Et ce, pour une simple et excellente raison : ce n'est pas une étoile, mais une planète qui s'appelle Vénus.

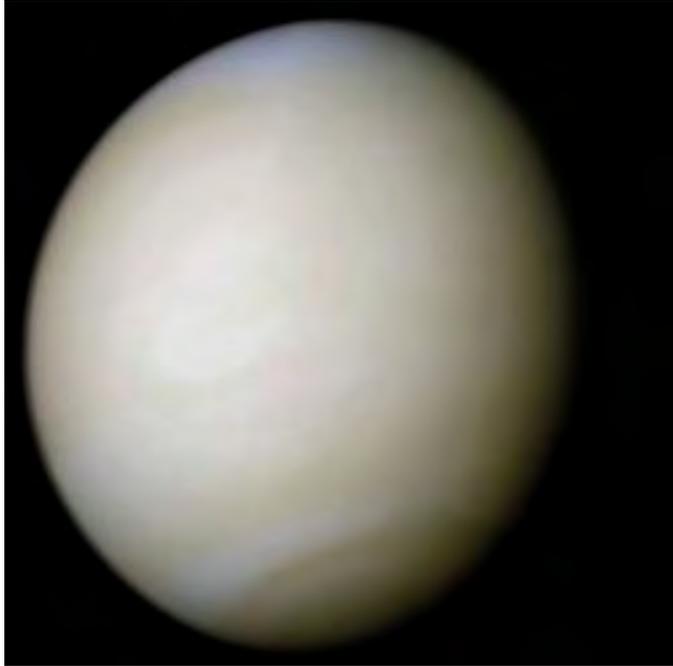
Pourtant, depuis des millénaires, les égyptiens, les babyloniens, les grecs et les romains de la plus haute antiquité savaient que cet astre était une planète car, contrairement aux étoiles, elle bougeait dans le ciel étoilé.

Le pentagramme fut aussi utilisé comme symbole de Vénus et du féminin en général (et notamment du féminin sacré). L'adoption de ce symbole est directement liée à l'observation de la planète : les positions successives de Vénus dans le ciel à chaque période synodique dessinent approximativement un pentagramme autour du Soleil, sur un cycle total de 8 ans (c'est-à-dire cinq périodes synodiques de Vénus).

Présentation générale

La distance de Vénus au Soleil est comprise entre 0,718 et 0,728 UA, avec une période orbitale de 224,7 jours. Vénus est une planète tellurique, comme le sont également Mercure, la Terre et Mars. Elle possède un champ magnétique très faible et n'a aucun satellite naturel. Elle est, avec Uranus, l'une des deux seules planètes du Système solaire dont la rotation est rétrograde, et la seule ayant une période de rotation (243 jours) supérieure à sa période de révolution. Vénus présente en outre la particularité d'être quasiment sphérique (son aplatissement peut être considéré comme nul) et de parcourir l'orbite la plus circulaire des planètes du Système solaire, avec une excentricité orbitale de 0,0068 (contre 0,0167 pour la Terre).

Vénus est presque aussi grande que la Terre (son diamètre représente 95 % de celui de notre planète) et a une masse équivalente aux quatre cinquièmes de celle de la Terre. Sa surface est dissimulée sous d'épaisses couches de nuages très réfléchissants qui lui confèrent un albédo de Bond de 0,75 et une magnitude apparente dans le ciel pouvant atteindre -4,6, valeur dépassée uniquement par la Lune et le Soleil. Étant plus proche du Soleil que la Terre, elle présente des phases au même titre que la Lune et Mercure selon sa position relative par rapport au Soleil et à la Terre, son élongation ne dépassant jamais 47,8°.

Vénus ♀	
	
<i>Vénus en vraies couleurs vue par Mariner 10</i>	
Caractéristiques orbitales	
Demi-grand axe	108 208 930 km
Aphélie	108 942 109 km
Périhélie	107 476 259 km
Circonférence orbitale	679 888 899 km
Excentricité	0,0068
Période de révolution	224,701 j
Période synodique	583,92 j

Vitesse orbitale moyenne	35,02 km/s
Vitesse orbitale maximale	35,26 km/s
Vitesse orbitale minimale	34,79 km/s
Inclinaison sur l'écliptique	3,39°
Nœud ascendant	76,67069°
Argument du périhélie	54,85229°
Satellites connus	0
Caractéristiques physiques	
Rayon équatorial	6 051,8 ± 1,0 km
Rayon polaire	6 051,8 ± 1,0 km
Rayon moyen volumétrique	6 051,8 ± 1,0 km
Aplatissement	0
Périmètre équatorial	38 025 km
Superficie	460×10 ⁶ km ²
Volume	928,43×10 ⁶ km ³
Masse	4,8685×10 ²⁴ kg
Masse volumique globale	5,204×10 ³ kg/m ³
Gravité de surface	8,87 m/s ²
Vitesse de libération	10,46 km/s
Période de rotation (jour sidéral)	-243,023 d
Vitesse de rotation (à l'équateur)	6,52 km/h
Inclinaison de l'axe	177,36°
Albédo géométrique visuel	0,65
Albédo de Bond	0,75
Irradiance solaire	2 613,9 W/m ²
Température d'équilibre du corps noir	231,7 K (-41,3 °C)
Température de surface :	
Maximum :	763 K (490 °C)
Moyenne :	735 K (462 °C)
Minimum :	719 K (446 °C)
Caractéristiques de l'atmosphère	
Pression atmosphérique	9,3×10 ⁶ Pa
Masse volumique au sol	~ 65 kg/m ³
Masse totale	480×10 ¹⁸ kg
Hauteur d'échelle	15,9 km
Masse molaire moyenne	43,45 g/mol
Dioxyde de carbone CO₂	~96,5 %
Diazote N₂	~3,5 %
Dioxyde de soufre SO₂	150 ppm
Argon Ar	70 ppm
Vapeur d'eau H₂O	20 ppm

Monoxyde de carbone CO	17 ppm
Hélium He	12 ppm
Néon Ne	7 ppm
Acide chlorhydrique HCl	100 à 600 ppb
Acide fluorhydrique HF	1 à 5 ppb
Sulfure de carbonyle COS	Traces

L'atmosphère de Vénus est la plus épaisse de celle de toutes les planètes telluriques, avec une pression au sol atteignant 9,3 MPa (91,8 atm) au niveau de référence des altitudes vénusiennes. Cette atmosphère est composée d'environ 96,5 % de dioxyde de carbone et 3,5 % d'azote, avec de faibles concentrations de dioxyde de soufre et de divers autres gaz. Elle contient d'épaisses couches nuageuses opaques constituées de gouttelettes de dioxyde de soufre et d'acide sulfurique surmontées d'une brume de cristaux de glace d'eau qui donne à la planète son aspect laiteux lorsqu'on l'observe depuis l'espace. Ces nuages réfléchissent l'essentiel du rayonnement solaire, de sorte que la puissance solaire parvenant au sol sur Vénus représente moins de 45 % de celle reçue au sol sur Terre, et est même inférieure d'un quart à celle reçue à la surface de la planète Mars.

L'atmosphère de Vénus est près de cent fois plus massive que celle de la Terre et possède une dynamique propre, indépendante de la planète elle-même, avec une super-rotation dans le sens rétrograde en quatre jours terrestres, ce qui correspond à une vitesse linéaire au sommet des nuages d'environ 100 m/s (360 km/h) par rapport au sol. Compte tenu de sa composition et de sa structure, cette atmosphère génère un très puissant effet de serre à l'origine des températures les plus élevées mesurées à la surface d'une planète du Système solaire : près de 740 K (environ 465 °C) en moyenne à la surface — supérieures à celles de Mercure, pourtant plus proche encore du Soleil, où les températures culminent à 700 K (environ 425 °C) — et ceci bien que l'atmosphère ne laisse passer que le quart de l'énergie solaire incidente. À cette pression (9,3 MPa) et à cette température (740 K), le CO₂ n'est plus un gaz, mais un fluide supercritique (intermédiaire entre un gaz et un liquide), d'une masse volumique voisine de 65 kg/m³. La topographie de Vénus présente peu de reliefs élevés, et consiste essentiellement en de vastes plaines a priori volcaniques géologiquement très jeunes, quelques centaines de millions d'années tout au plus. De très nombreux volcans ont été identifiés à sa surface, mais sans véritables coulées de lave, ce qui constitue une énigme, ainsi que des formations géologiques, parfois uniques dans le Système solaire telles que coronae, arachnoïdes et farra, attribuées à des manifestations atypiques de volcanisme. En l'absence de tectonique des plaques identifiée à la surface de la planète, on pense que Vénus évacue sa chaleur interne périodiquement lors d'éruptions volcaniques massives qui remodelent entièrement sa surface, ce qui expliquerait que celle-ci soit si récente. Entre ces épisodes de volcanisme global, le refroidissement de la planète serait trop lent pour entretenir un gradient thermique suffisant dans la phase liquide du noyau pour générer un champ magnétique global par effet dynamo. Par ailleurs, des mesures d'émissivité à 1,18 μm réalisées en 2008 ont suggéré une relative abondance des granites et autres roches felsiques sur les terrains les plus élevés, qui sont généralement les plus anciens, de la planète, ce qui impliquerait l'existence passée d'un océan global assorti d'un mécanisme de recyclage de l'eau dans le manteau susceptible d'avoir produit de telles roches. À l'instar de Mars, Vénus aurait ainsi peut-être connu, il y a plusieurs milliards d'années, des conditions tempérées permettant l'existence d'eau liquide en surface, eau aujourd'hui disparue, par évaporation puis dissociation photochimique dans la haute atmosphère, au point de faire de cette planète l'une des plus sèches du Système solaire. La planète Vénus a été baptisée du nom de la déesse Vénus de la féminité et de l'amour physique dans la mythologie romaine. Elle était déjà connue des Babyloniens à l'Âge du bronze, associée à la déesse Ishtar de la mythologie mésopotamienne.

Caractéristiques physiques

Vénus est souvent décrite comme une « sœur jumelle » de la Terre en raison de ses caractéristiques globales très proches de celles de notre planète : son diamètre vaut 95 % de celui de la Terre, et sa masse un peu plus de 80 %. Néanmoins, si sa géologie est sans doute proche de celle de la Terre, les conditions

qui règnent à sa surface diffèrent radicalement des conditions terrestres, et les phénomènes géologiques affectant la croûte vénusienne semblent également spécifiques à cette planète.

II Caractéristiques : Atmosphère, surface, rotation



Structures nuageuses dans l'atmosphère de Vénus, révélées par des observations en ultraviolet

L'**atmosphère de Vénus** a été découverte en 1761 par le polymathe russe Mikhaïl Lomonossov. Elle est plus dense et épaisse que celle de la Terre. La température et la pression à la surface sont respectivement de 740 K (soit environ 470 °C) et 93 bar. Des nuages opaques faits d'acide sulfurique se trouvent dans l'atmosphère, rendant l'observation optique de la surface impossible. Les informations concernant la topographie de Vénus ont été obtenues exclusivement par image radar. Les principaux gaz atmosphériques de Vénus sont le dioxyde de carbone et l'azote. Les autres composants sont présents seulement sous forme de traces. L'atmosphère de Vénus est en état de super-rotation. La totalité de l'atmosphère accomplit une circonvolution de la planète en seulement quatre jours terrestres, plus rapide que le jour sidéral de Vénus de 243 jours terrestres. Les vents soufflent à près de 100 m/s. Près de chaque pôle se trouve une structure anticyclonique appelée vortex polaire. Chaque vortex a deux centres et présente une forme en S caractéristique.

Contrairement à la Terre, Vénus n'a pas de champ magnétique. C'est l'ionosphère qui sépare l'atmosphère de l'espace et du vent solaire. Cette couche ionisée protège Vénus du champ magnétique stellaire, donnant à Vénus un environnement magnétique distinct. Les gaz plus légers, comme l'eau, sont continuellement détruits par le vent solaire traversant la magnétosphère. On pense actuellement que l'atmosphère de Vénus était, il y a quatre milliards d'années, semblable à celle de la Terre avec de l'eau liquide à la surface. L'effet de serre peut avoir été causé par l'évaporation de l'eau ce qui aurait ensuite entraîné l'augmentation de la quantité d'autres gaz à effet de serre. Malgré les conditions difficiles existant à la surface, la pression et la température atmosphérique à environ 50 km au-dessus de la surface de la planète sont presque les mêmes que celles de la Terre, faisant de sa haute atmosphère la zone la plus semblable aux conditions terrestres dans le système solaire, même plus que la surface de Mars. Du fait de la similitude de pression et de température et du fait que l'air tel que nous le respirons (21 % oxygène, 78 % azote) est un gaz ayant une portance par rapport à l'air sur Vénus, de la même façon que l'hélium sur Terre; la haute atmosphère vénusienne a été proposée comme point de départ pour l'exploration et la colonisation de la planète.

A) Structure et composition de l'atmosphère

Composition

L'atmosphère de Vénus est principalement composée de dioxyde de carbone, avec un peu d'azote et des traces d'autres composés. La quantité d'azote dans l'atmosphère est relativement faible par rapport à la quantité de dioxyde de carbone, mais puisque l'atmosphère vénusienne est plus épaisse que l'atmosphère terrestre, la quantité d'azote totale est quatre fois supérieure à celle de la Terre (où l'azote représente 78 % de l'atmosphère). L'atmosphère contient de petites quantités de composés intéressants, tel que des molécules contenant de l'hydrogène, comme le chlorure d'hydrogène HCl et le fluorure d'hydrogène HF. On y trouve également du monoxyde de carbone CO, de la vapeur d'eau H₂O et aussi de l'oxygène moléculaire O₂. Une grande partie de l'hydrogène H₂ de la planète semble s'être échappé dans l'espace, le reste ayant formé de l'acide sulfurique H₂SO₄ et du sulfure d'hydrogène H₂S. Par conséquent, l'hydrogène se trouve en quantité relativement limitée dans l'atmosphère vénusienne. La perte de quantités significatives d'hydrogène est prouvée par un ratio D/H très élevé dans l'atmosphère. Le ratio est de 0,025, ce qui est plus élevé que le ratio terrestre de 1,6×10⁻⁴. De plus, dans la haute atmosphère de Vénus le ratio D/H est 1,5 fois plus important que partout ailleurs sur la planète.

Structure

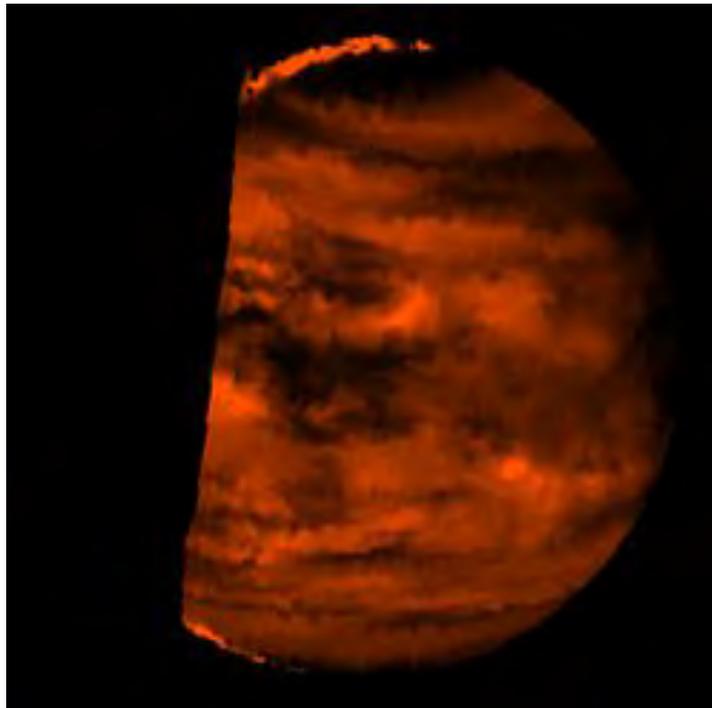


Image en proche infrarouge (2,3 μm) des profondeurs de l'atmosphère de Vénus obtenue par la sonde Galileo. Les régions sombres sont la silhouette des nuages apparaissant en négatif sur la basse atmosphère, très chaude et donc très lumineuse dans l'infrarouge

L'atmosphère vénusienne peut grossièrement se diviser en trois parties :

Les deux premières parties regroupent ce qui serait la Troposphère :

- la basse atmosphère (*lower haze region*), entre 0 et 48 km d'altitude, qui est relativement éclairée. Le soleil n'y est visible que sous la forme d'un halo orangé dans les nuages;
- la couche nuageuse (*cloud region*), épaisse (près de 37 km). Ces nuages s'étendent entre 31 et 68 km d'altitude (rappelons que nos nuages culminent à 10 km). Cette couche nuageuse opaque réfléchit la lumière solaire, ce qui explique la brillance de Vénus et empêche d'observer directement le sol vénusien depuis la Terre. La couche nuageuse peut se subdiviser en trois autres couches :

- la **couche inférieure ou basse** (*lower cloud region*), de 31 à 51 km. De 31 à 48 km d'altitude, l'atmosphère est qualifiée de « brumeuse » à cause de la faible quantité de particules d'acide sulfurique qu'elle contient. Ces nuages d'acide sulfurique sont visibles depuis le sol comme des rubans de vapeur jaunis par l'acide qu'ils contiennent. De 48 à 51 km d'altitude, se trouve la couche la plus dense de l'atmosphère vénusienne, où dominent principalement de grosses particules de soufre (liquides comme solides);
- la **couche centrale ou principale** (*middle cloud region*) de 51 à 52 km d'altitude, relativement claire;
- la **couche supérieure ou haute** (*upper cloud region*), de 52 à 68 km d'altitude. De 52 à 58 km d'altitude, elle consiste notamment en des gouttelettes d'acides sulfurique et chlorhydrique ainsi que des particules de soufre (liquides comme solides). Les gouttelettes d'acide sulfurique sont en solution aqueuse, constituées à 75 % d'acide sulfurique et à 25 % d'eau. Enfin, la plus haute partie de la couche supérieure, de 58 à 68 km d'altitude, consisterait en une brume de cristaux de glace. Ce sont ces cristaux de glace qui donnent à Vénus son apparence si « laiteuse » depuis la Terre;

La troisième partie est traitée dans la section concernant la Haute atmosphère et ionosphère :

- la **haute atmosphère** (*upper haze region*), entre 68 et 90 km d'altitude, qui est tout à fait claire.

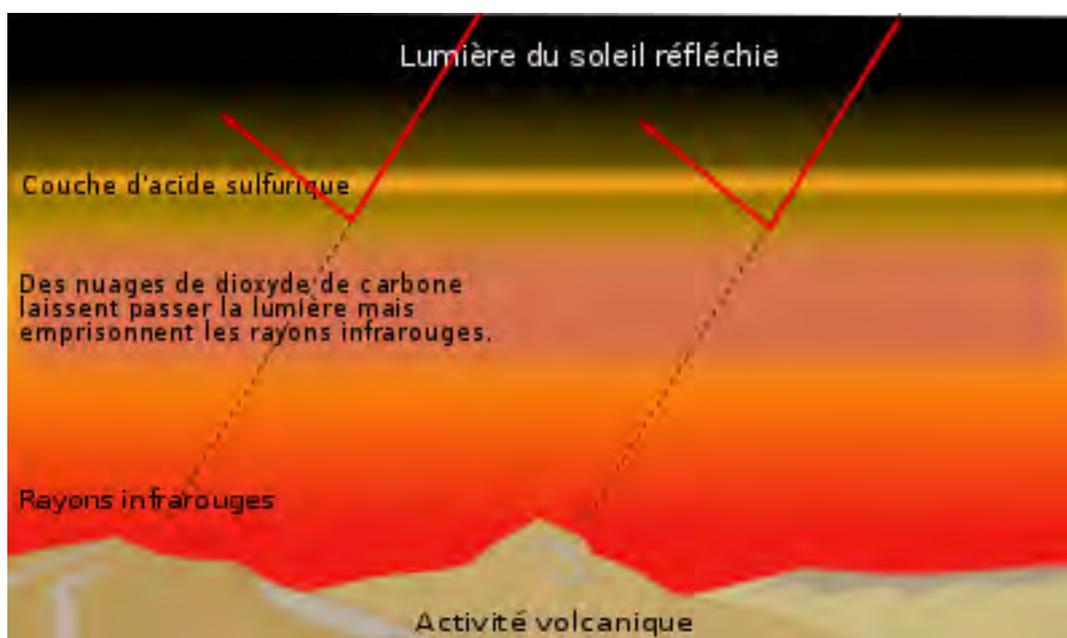
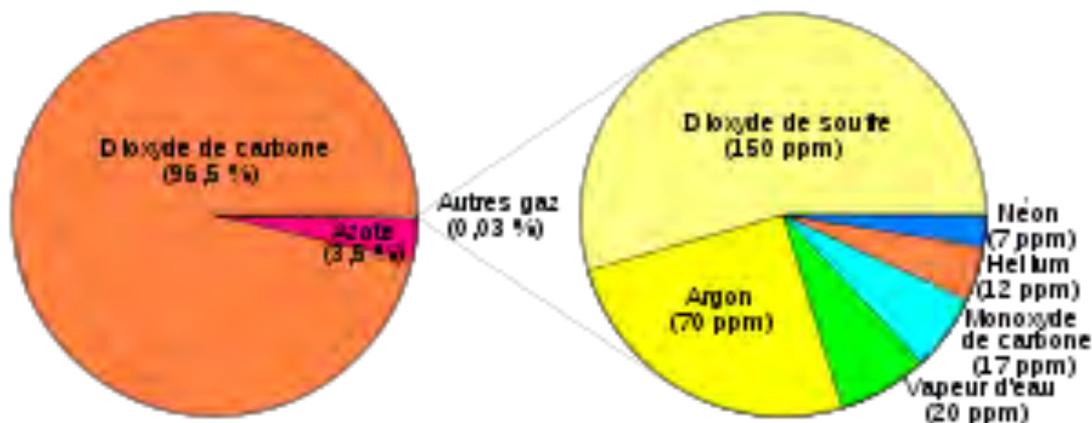


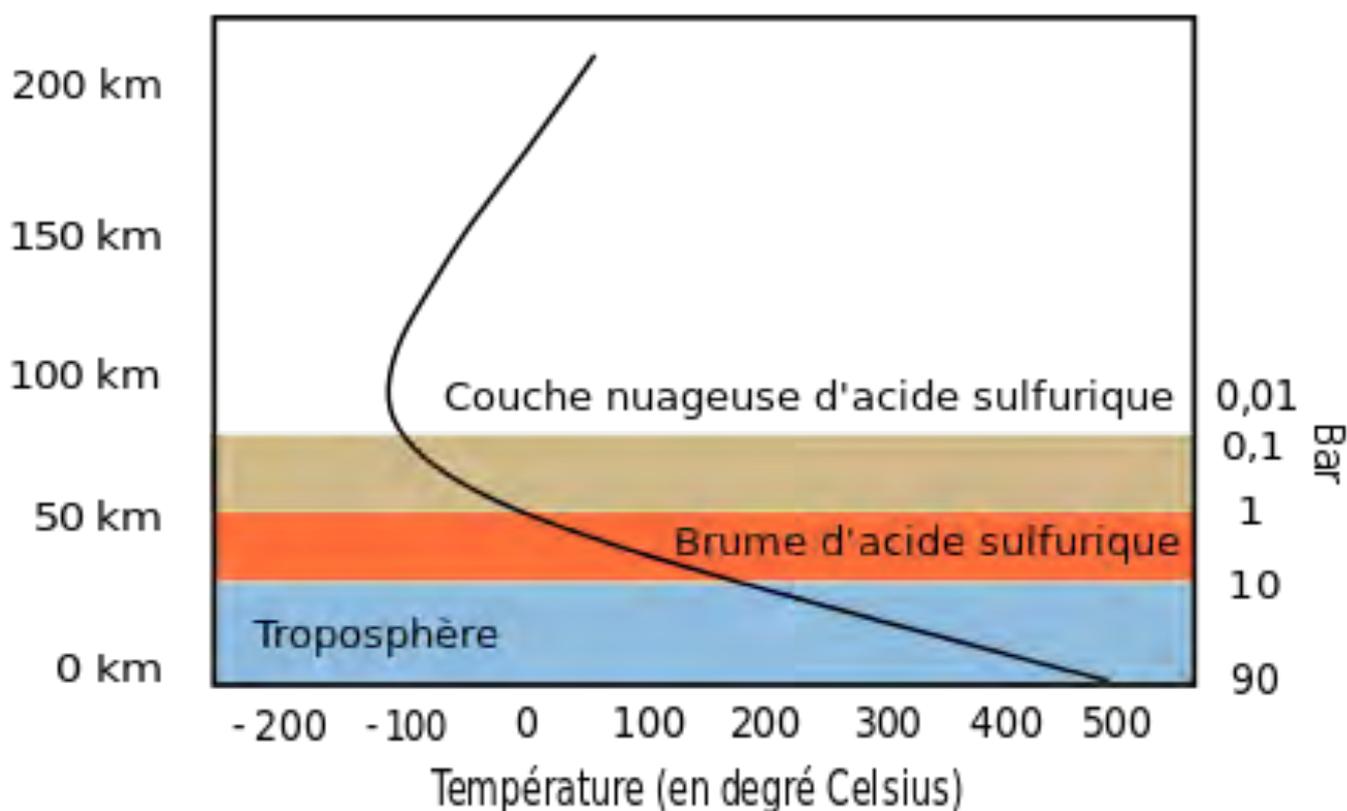
Schéma de l'atmosphère vénusienne

B) La troposphère



Camembert de l'atmosphère de Vénus. Le diagramme à droite est une vue élargie des éléments sous formes de traces qui ne représentent même pas le millième

L'atmosphère est divisée en plusieurs sections suivant l'altitude. La partie la plus dense, la troposphère, commence à la surface et s'étend jusqu'à près de 65 km. À la surface les vents sont lents, mais au plus haut de la troposphère la température et la pression sont similaires à celle de la Terre et les nuages vont à la vitesse de 100 m/s. La pression atmosphérique à la surface de Vénus est 92 fois plus importante que sur Terre, où une telle pression n'existe qu'à 910 mètres sous la surface des océans. La masse totale atmosphérique est de $4,8 \times 10^{20}$ kg, soit 93 fois la masse de l'atmosphère terrestre. La pression à la surface de Vénus est si élevée que le dioxyde de carbone n'est techniquement plus un gaz, mais un fluide supercritique. La densité de l'air à la surface est de 67 kg/m^3 , ce qui est 6,5 % de celle de l'eau liquide sur Terre. La grande quantité de CO_2 combiné à la vapeur d'eau et le dioxyde de soufre SO_2 génèrent un fort effet de serre, retenant l'énergie solaire et augmentant la température à la surface à près de 740 K (467°C), ce qui fait de Vénus la planète la plus chaude du système solaire, bien que la planète ne reçoive que 25 % de l'énergie solaire reçu par Mercure. La température moyenne de surface est bien supérieure à celle des points de liquéfaction du plomb 600 K (327°C), de l'étain 505 K (232°C), et du zinc 693 K (420°C). L'épaisse troposphère réduit aussi la différence de température existant entre le jour et la nuit, bien que la rotation rétrograde de la planète crée un jour solaire de 116,5 jours terrestres. La surface de Vénus reste 58,3 jours dans l'obscurité nocturne avant que le Soleil ne se lève à nouveau perpétuellement caché par les nuages.



Évolution de la température en fonction de l'altitude

Évolution de la température et de la pression en fonction de l'altitude		
Altitude (km)	Température (°C)	Pression atmosphérique (x la Terre)
0	462	92,10
5	424	66,65
10	385	47,39
15	348	33,04
20	306	22,52
25	264	14,93
30	222	9,851
35	180	5,917
40	143	3,501
45	110	1,979
50	75	1,066
55	27	0,5314
60	-10	0,2357
65	-30	0,09765
70	-43	0,03690
80	-76	0,004760
90	-104	0,0003736
100	-112	0,00002660

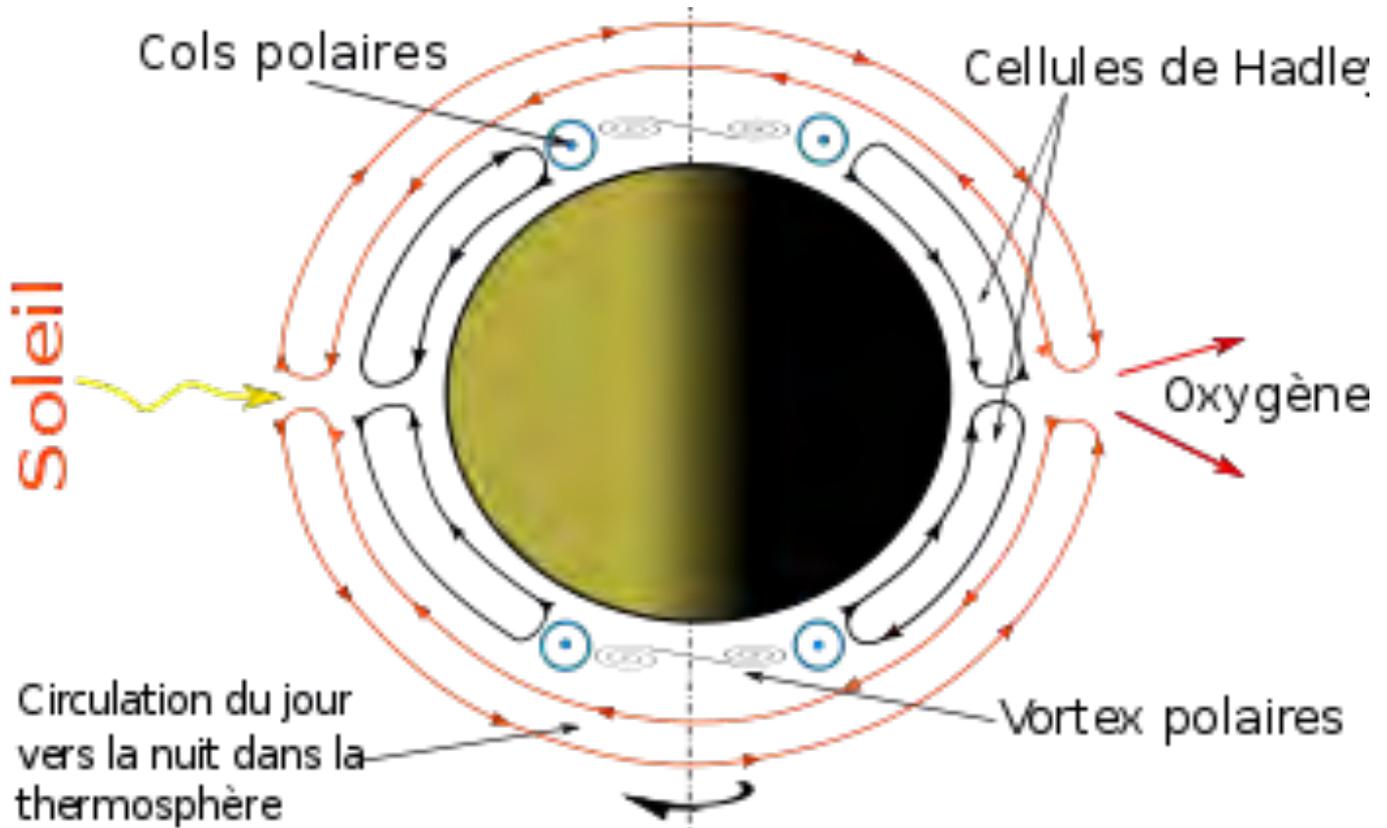
La troposphère de Vénus contient 99 % de la masse de l'atmosphère. 90 % de l'atmosphère de Vénus se trouve entre la surface et 28 km d'altitude, en comparaison, 90 % de l'atmosphère de la Terre se trouve entre la surface et 10 km de haut. Les nuages, se trouvant sur la face plongée dans la nuit vénusienne, peuvent s'élever à 80 km au-dessus de la surface.

La région de la troposphère la plus similaire à la Terre est proche de la tropopause — la frontière entre la troposphère et la mésosphère qui se trouve à environ 50 km d'altitude. D'après les sondes Magellan et Venus Express, la région comprise entre 52,5 et 54 km a une température allant de 293 K (20 °C) à 310 K (37 °C), et la région au-dessus de 49,5 km a une pression atmosphérique correspondant à la pression atmosphérique terrestre au niveau de la mer. Les 50 à 54 km au-dessus de la surface serait donc l'endroit où les installations permettant une exploration habitée de la planète ou l'établissement d'une colonie seraient les plus faciles car un vaisseau habité serait capable de compenser les différences de températures et de pressions.

C) Circulation de l'atmosphère

La couche nuageuse vénusienne effectue une rotation complète (le tour de la planète) en 4,2 jours terrestres. Ce mouvement de convection naturelle, qui s'effectue d'est en ouest (c'est donc un mouvement rétrogrades au sens où les vents soufflent dans la direction opposée à la révolution de la planète autour du Soleil), est appelé super-rotation. Ces vents sont créés par le gradient barométrique et les forces centrifuges causant des flux zonaux (En comparaison, la circulation de l'atmosphère terrestre est générée par l'équilibre géostrophique). Le mouvement de super-rotation s'amorce vers 10 km d'altitude, puis s'amplifie régulièrement jusqu'à 65 km, où les vents à l'équateur atteignent des vitesses de l'ordre de 540 km/h. À partir de là, la vitesse des vents décroît de 3 m/s/km pour s'annuler vers 95 km. De même elle décroît suivant la latitude, atteignant probablement zéro aux pôles. En d'autres mots, ces vents font le tour de la planète plus rapidement qu'elle ne tourne sur elle-même (cinquante fois plus vite que le sol). Toutefois au niveau du sol les vents n'atteignent pas plus de quelques kilomètres par heure (généralement moins de 2 m/s), mais du fait de la densité importante de l'atmosphère (un dixième de celle de l'eau à la

surface) cette vitesse est suffisante pour éroder, et déplacer de la poussière et des rochers comme le ferait un ruisseau à une telle vitesse sur Terre. Cette super-rotation a probablement influé la rotation de Vénus. En effet, la masse atmosphérique de Vénus est de l'ordre du dix-millième de la masse de la planète. Il y aurait eu un échange de vitesse entre la planète et son atmosphère pour conserver le moment cinétique total.



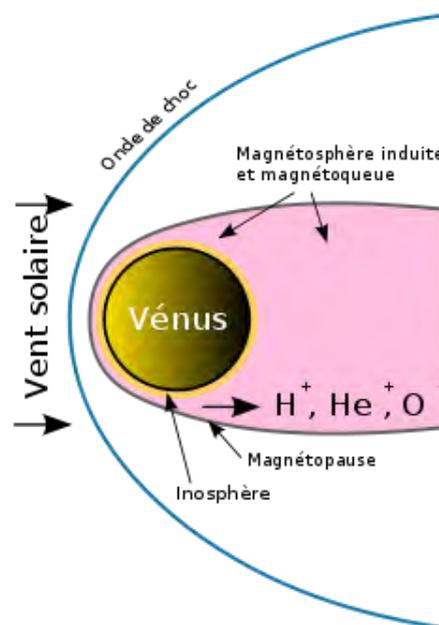
Représentation de la circulation atmosphérique sur Vénus

De plus la température est quasiment constante et uniforme à la surface de la planète (sur la face éclairée comme sur la face cachée), assurée par les vents qui la balayent et qui permettent une répartition uniforme de la chaleur. Ceci explique donc l'écart si faible entre les températures observables. Ainsi, pendant les nuits vénusiennes d'environ 58 jours (terrestres), la température diminue très peu. Toutefois, il n'en est pas de même en altitude, où l'atmosphère est bien plus légère : à 100 km, la température varie quand même de +29 °C le jour à -143 °C la nuit. L'air chaud remonte au niveau de l'équateur, là où le réchauffement solaire se concentre, et afflue aux pôles. Ce phénomène est appelé *cellules de Hadley*. Toutefois, ce phénomène ne se manifeste qu'en deçà de $\pm 60^\circ$ de latitude. Là, l'air commence à redescendre vers l'équateur sous les nuages. Cette interprétation de la circulation de l'air est prouvée par la distribution du monoxyde de carbone aux alentours de $\pm 60^\circ$ de latitude. Plus au nord un autre type de circulation est observé. Il y a, au niveau des latitudes comprises entre 60° et 70° , des "cols polaires" Ils sont caractérisés par des températures allant de 30 à 40 K ce qui est relativement bas par rapport à d'autres latitudes. De telles températures sont probablement dues à un rafraîchissement adiabatique. Des structures étranges connues sous le nom de vortex polaires ont été observées. Ce sont des tempêtes semblables à des ouragans géants (quatre fois plus grands que leurs analogues terrestres). Chacun de ces vortex a deux centres autour desquels ils tournent prenant la forme d'un "S". De tels structures sont appelés des dipôles polaires. Les vortex tournent sur une période d'environ 3 jours dans le sens de la super-rotation de l'atmosphère. La vitesse des vents est de 35 à 50 m/s sur leurs bords extérieurs et est nulle aux pôles. La température au sommet des nuages constituant les vortex est de près de 250 K (-23 °C). Le premier vortex de Vénus (celui du pôle Nord) fut découvert par la mission Pioneer Venus en 1978. Le deuxième vortex de Vénus (au pôle Sud) fut découvert en 2006 par Venus Express.

Haute atmosphère et ionosphère

La mésosphère de Vénus s'étend de 65 km à 120 km d'altitude, et la thermosphère commence à environ 120 km, atteignant probablement la limite supérieure de l'atmosphère (exosphère) entre 220 et 350 km. L'exosphère est la partie de l'atmosphère où les collisions entre particules sont rares, considérées comme négligeables. La mésosphère de Vénus peut être divisée en deux couches: la plus basse, de 62 à 73 km et la couche supérieure entre 73 et 95 km. Dans la couche basse la température est presque toujours de 230 K (-43 °C). Cette couche coïncide avec la couche nuageuse supérieure. Dans la seconde couche la température recommence à baisser atteignant 165 K (-108 °C) à l'altitude de 95 km, où la mésopause commence. C'est la région la plus froide de l'atmosphère vénusienne durant le jour. La circulation dans la haute mésosphère et la thermosphère de Vénus est complètement différente de la circulation dans la basse atmosphère. Aux altitudes de 90–150 km, l'air vénusien se déplace de la partie ensoleillée vers la partie située dans l'obscurité, avec la remontée de l'air du côté éclairé et une chute de l'air du côté sombre. Le courant descendant de la partie sombre entraîne un réchauffement adiabatique de l'air, ce qui forme une couche chaude dans la partie nocturne de la mésosphère aux altitudes de 90–120 km. La température dans cette région (230 K soit -43 °C) est plus élevée que la température que l'on trouve ailleurs dans la thermosphère (100 K soit -173 °C). L'air provenant de la face éclairée de la planète apporte aussi des atomes d'oxygène, qui après recombinaison forment des molécules d'oxygène singulet ($^1\Delta_2$) qui émettent, par relaxation, des photons à 1,27 μm de longueur d'onde, dans l'infrarouge. La partie non-éclairée de la haute mésosphère et thermosphère de Vénus est source d'émissions non-ETL (Équilibre thermodynamique local) de molécules de CO_2 et de NO , qui sont responsables des basses températures de cette partie de la thermosphère. La sonde Venus Express a montré grâce à l'occultation stellaire que la brume atmosphérique s'étendait plus haut du côté obscur que du côté ensoleillé. Sur cette dernière la couche nuageuse a une épaisseur de 20 km et s'étend jusqu'à 65 km, tandis que sur la face obscure la couche de nuages atteint les 90 km d'altitude — jusque dans la mésosphère, allant jusqu'à 105 km sous la forme d'une brume translucide. Vénus a une ionosphère située entre 120 et 300 km d'altitude. L'ionosphère coïncide presque avec la thermosphère. Les hauts niveaux d'ionisation sont maintenus seulement du côté éclairé de la planète. Du côté non-éclairé les électrons ne sont presque pas présents. L'ionosphère de Vénus se compose de trois couches principales : la première de 120 à 130 km, la seconde entre 140 et 160 km et la troisième entre 200 et 250 km. Il y a probablement une couche intermédiaire vers 180 km. La densité maximum d'électrons de $3 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$ est atteinte dans la seconde couche au point subsolaire. La limite supérieure de l'ionosphère, l'ionopause, est comprise entre une altitude de 220 et 375 km. L'ion principal des deux premières couches est l'ion O^+ , et dans la troisième les ions O^+ dominant.

D) La magnétosphère



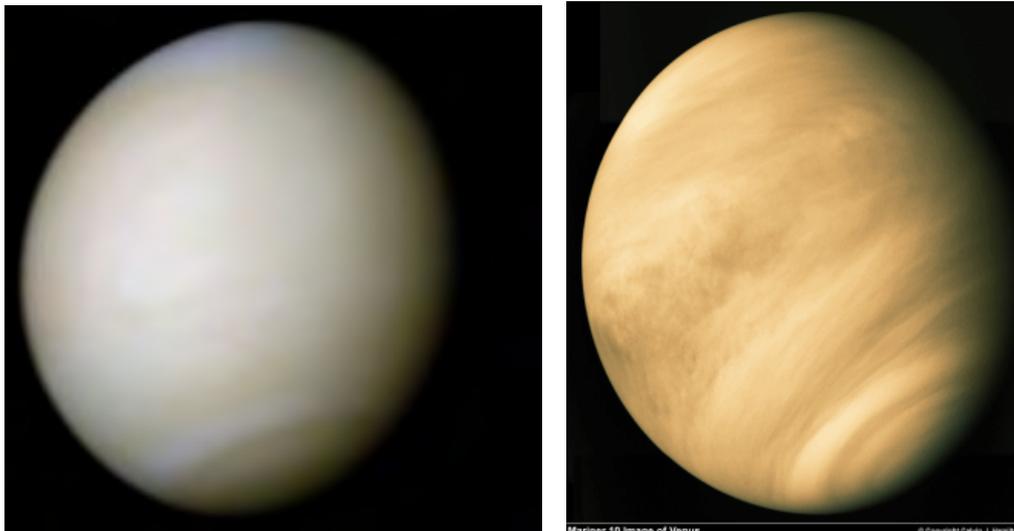
Vénus interagit avec le vent solaire

Vénus est connue pour son absence de champ magnétique. La raison de cette absence n'est pas connue, mais est probablement liée à la rotation de la planète ou au manque de convection dans le manteau. Vénus a seulement une magnétosphère induite formé par le champ magnétique solaire transporté dans le vent solaire. Ce processus consiste dans le fait que le champ magnétique frappe un obstacle — ici Venus. La magnétosphère de Vénus a une onde de choc, une magnétogaine, et une magnétopause. Au point subsolaire l'onde de choc se trouve à 1 900 km (0,3 R_v, où R_v est le rayon de Vénus) au-dessus de la surface de Vénus. Cette distance a été mesuré en 2007 lors d'une activité solaire minimum. Lors de l'activité solaire maximum cette distance peut être plus importante. La magnétopause se trouve à une altitude de 300 km. La limite supérieure de l'ionosphère (ionopause) est proche de 250 km d'altitude. Entre la magnétopause et l'ionopause il existe une barrière magnétique — un champ magnétique localisé — qui empêche le plasma solaire de pénétrer profondément dans l'atmosphère de la planète, au moins lors de l'activité solaire minimum. Le champ magnétique de cette barrière atteint les 40 nT. La magnétoqueue s'étend jusqu'à 10 rayons de la planète. C'est la région la plus active de la magnétosphère vénusienne. Il y a des recombinaisons et des accélérations de particules dans la queue. L'énergie produite par les électrons et les ions dans la magnétoqueue est respectivement de 100 eV et de 1 000 eV. À cause de l'absence de champ magnétique, le vent solaire pénètre relativement profondément dans l'exosphère de la planète et causes des pertes atmosphériques. Les pertes se font principalement via la magnétoqueue. Actuellement les pertes d'ions principales sont celle de O⁺, H⁺ et de He⁺. Le ratio des pertes d'hydrogène sur oxygène s'approche de 2 (i.e. Stœchiométrie) indique les pertes d'eau.

E) Conditions atmosphériques et climatiques

Vénus présente un climat infernal en raison de nombreux facteurs. Elle est aussi la planète la plus chaude du système solaire avec des températures pouvant dépasser 480 °C.

Nuages

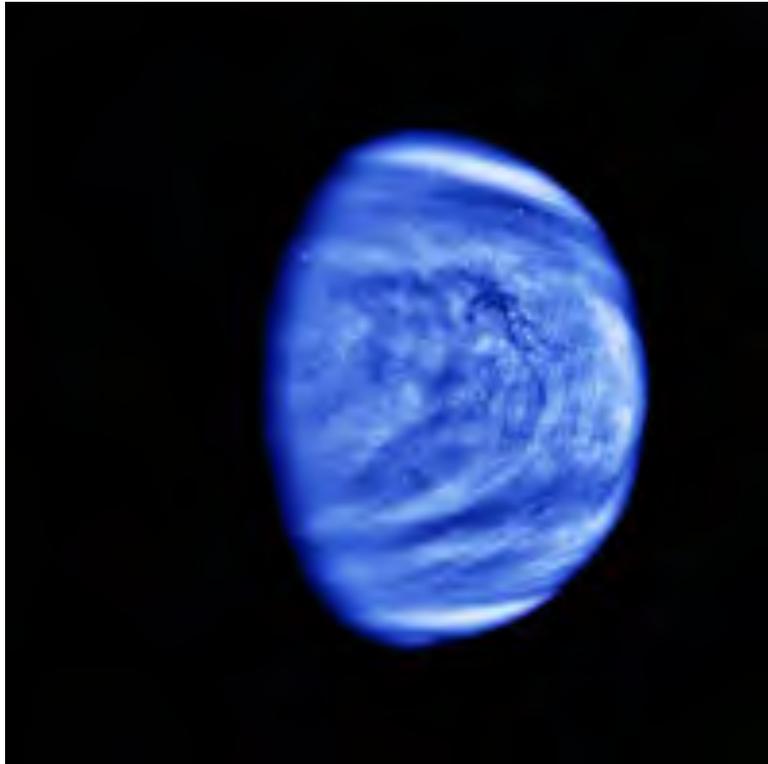


Vénus en vraies couleurs, telle que l'on peut la voir à l'œil nu (par Mariner 10 lors de la mission de 1973 à 1975)

Les nuages vénusiens sont épais et composés de dioxyde de soufre et de gouttelettes d'acide sulfurique. Ces nuages reflètent 75 % de la lumière solaire qui les atteint. La couverture nuageuse est telle que seule une petite partie de la lumière peut la traverser et toucher la surface, et le niveau de lumière est seulement d'environ 5,000–10,000 lux avec une visibilité de trois kilomètres. À ce niveau peu ou pas d'énergie solaire peut être collectée par une sonde. L'humidité à ce niveau est de 0,1 %. L'acide sulfurique est produit dans la haute atmosphère par l'action photochimique du Soleil sur le dioxyde de carbone, le dioxyde de soufre, et la vapeur d'eau. Les photons ultraviolets d'une longueur d'onde inférieure à 169 nm peuvent photodissocier le dioxyde de carbone en monoxyde de carbone et en atome d'oxygène. Un atome d'oxygène est hautement réactif : quand il réagit avec du dioxyde de soufre il forme du trioxyde de soufre, qui peut se combiner avec la vapeur d'eau pour former de l'acide sulfurique. $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O} / \text{SO}_2 + \text{O} \rightarrow \text{SO}_3 / \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$. Les pluies d'acide sulfurique n'atteignent jamais le sol (cf. ci-dessous).

Virga

Les fréquentes pluies vénusiennes d'acide sulfurique (H_2SO_4) n'atteignent jamais le sol, mais s'évaporent à cause de la chaleur avant d'atteindre la surface, ce phénomène est connu sous le nom de virga. Parties entre 48 et 58 km d'altitude (donc de la couche nuageuse), ces gouttes d'acide, arrivées à environ 30 km d'altitude, vont rencontrer des températures telles qu'elles finissent par s'évaporer. Les gaz issus de l'évaporation remontent alors pour réalimenter les nuages. En effet, l'acide sulfurique s'évapore vers 300 °C; mais vers cette température il se décompose en eau et en dioxyde de soufre. Ce sont ces gaz qui sont produits par les gouttes au-dessus de 300 °C, donc bien avant d'arriver au sol (à 470 °C).



*Photographie prise par Galileo en route pour Jupiter en 1990
Les détails ont été accentués et la teinte bleue vient de l'utilisation d'un filtre violet*

Orages

Les nuages de Vénus peuvent produire des éclairs rouges (jusqu'à 25 par seconde) au même titre que les nuages terriens. L'existence de ces éclairs a longtemps été le sujet de controverses depuis leur détection par la sonde Venera. Toutefois en 2006–2007 Venus Express a détecté des vagues électromagnétiques, dont la cause est attribuée aux éclairs. De même la sonde Pioneer Venus y a même enregistré le grondement quasiment permanent du tonnerre, grondement constant causé par une atmosphère vénusienne très dense et qui augmente donc la propagation du son. Lorsque la sonde Cassini-Huygens a survolé à deux reprises Vénus avant de partir pour Saturne, on enregistra toutes les émissions provenant de Vénus afin de déceler d'éventuelles décharges électriques. Mais absolument rien ne fut détecté.

Trois hypothèses sont actuellement admises : soit il n'y a finalement pas d'éclairs d'orage dans l'atmosphère de Vénus, soit ils sont cent fois plus faibles que sur Terre (et n'ont donc pas pu être enregistrés), soit ils sont extrêmement rares et ne se sont pas produits lors des survols de la sonde. Les scientifiques déclarent que l'absence d'éclair n'est pas une surprise. En effet, les décharges électriques sont créées par des mouvements verticaux des masses nuageuses. Or l'on a vu plus haut que la circulation atmosphérique vénusienne s'effectue surtout de façon horizontale.

Eau

Comme la Terre, Vénus possédait autrefois de grandes quantités d'eau (on parle d'océans); cependant celle-ci s'est complètement évaporée du fait de la proximité de Vénus par rapport au Soleil (Vénus est 1,38 fois plus proche du Soleil que la Terre) et elle reçoit ainsi presque 2 fois (1,91) le flux énergétique

reçu par la Terre. La vapeur d'eau, un agent connu de l'effet de serre extrêmement actif, a fait s'emballer le climat vénusien. Maintenant, le climat de Vénus est très sec.

La vapeur d'eau a dû être dissociée par le rayonnement ultraviolet solaire, comme cela se produit encore actuellement.

- L'hydrogène issu de cette décomposition a été rapidement évacué par le vent solaire, perdu à jamais.

Le deutérium (isotope lourd de l'hydrogène), s'échappant plus lentement, s'est ainsi concentré *relativement* à l'hydrogène.

- L'oxygène produit en même temps est resté sur la planète, et s'est combiné avec les roches de la croûte, et d'autant mieux en raison des hautes températures de surface.

De plus, la croûte vénusienne a dû se dessécher en profondeur, la vapeur d'eau présente actuellement doit être issue de ce dégazage résiduel. Cela a dû empêcher l'apparition d'une tectonique des plaques de type terrestre, qui aurait pu se produire sur Vénus si elle avait connu (et continué à avoir) un climat de type terrestre avec des océans. En effet, sur Terre la croûte est constamment hydratée (et refroidie) à ses dorsales par l'eau des océans. En l'absence d'eau et avec des températures élevées, la croûte vénusienne ne peut avoir de subduction, Vénus a donc développé une tectonique à plaque unique.

Température

D'après le tableau qui suit, on remarque tout de suite que la température à la surface de Vénus est très élevée et ne varie que très peu.

	Température en degrés Celsius	Température en kelvin
Température radiative apparente (depuis l'espace)	-43 °C	230 K
Surcroît de température dû à l'effet de serre	505 °C	505 K
Température moyenne (au sol)	462 °C	735 K
Température maximale	482 °C	755 K
Température minimale	446 °C	719 K

Ces températures incroyables ne résultent pas directement de la proximité du Soleil : en fait, l'épaisse couche nuageuse vénusienne réfléchit près de 65 % de la lumière (solaire) incidente. Ainsi, le flux net d'énergie solaire au niveau du sol est inférieur à celui reçu par la Terre (voir tableau suivant).

	Vénus	Terre
Constante solaire	2620 W/m ²	1367 W/m ²
Flux net d'énergie solaire en surface	367 W/m ²	842 W/m ²

Le CO₂ est bien un gaz à effet de serre, dans un large spectre, de plus on a affaire à une atmosphère *dense* (épaisse) et non pas à une pression partielle faible comme pour la Terre ou Mars. La faible partie du rayonnement solaire (dont l'intensité est maximale vers 500 nm; domaine visible) qui atteint le sol après avoir traversé la couche nuageuse est réémise dans le domaine infrarouge. Or le domaine infrarouge correspondant au maximum d'émission thermique pour un corps à la température de la surface et de la basse atmosphère de Vénus ne peut être piégé efficacement par le dioxyde de carbone, qui présente des fenêtres de transmission trop larges. Par contre, le dioxyde de soufre et la vapeur d'eau provenant du dégazage résiduel, bien qu'en très faibles quantités, absorbent bien les radiations dans ce domaine de longueurs d'onde, de même que les fines particules d'acide sulfurique qui constituent les nuages. L'effet de serre dû à l'atmosphère vénusienne est ainsi de près de 505 °C contre seulement 33 °C pour la Terre. C'est pourquoi la surface vénusienne est actuellement plus chaude que celle de Mercure, bien que Vénus soit presque deux fois (1,869) plus éloignée du Soleil que Mercure.

Possibilité de vie

Des organismes vivants, connu sous le nom d'extrêmophiles, existent sur Terre, préfèrent les habitats aux conditions extrêmes. Les organismes thermophiles et hyperthermophiles se multiplient dans des températures atteignant le point d'ébullition de l'eau, les organismes acidophiles se multiplient à un pH de

3 ou inférieur, les polyextrêmophiles peuvent survivre à un certain nombre de conditions extrêmes, et beaucoup d'organismes de ce type existent sur Terre. Toutefois, la vie pourrait exister hors de cette zone extrême tel qu'au sommet des nuages, de la même manière que certaines bactéries terrestres qui vivent et se reproduisent dans les nuages de la Terre, et il a été plusieurs fois considéré que de tels phénomènes pouvaient exister sur Vénus. Les microbes éventuellement présents dans l'atmosphère épaisse et nuageuse pourraient être protégés des radiations solaires par le soufre qui se trouve dans l'air. Les analyses des données recueillies par les missions Venera, Pioneer et Magellan ont montré la présence à la fois de sulfure d'hydrogène (H₂S) et de dioxyde de soufre (SO₂) dans la haute atmosphère, de même que de l'oxysulfure de carbone (COS). Les deux premiers gaz réagissent l'un avec l'autre. De plus, l'oxysulfure de carbone est remarquable pour être exceptionnellement difficile à produire par des moyens non-organiques. Ce composant pourrait donc être considéré comme un indicateur possible de vie.

Évolution

Grâce aux études des nuages et de la géologie de la surface actuelle, combinée avec le fait que la luminosité du Soleil a augmenté de 25 % depuis 3,8 milliards d'années, les scientifiques pensent que l'atmosphère de Vénus il y a 4 milliards d'années était plus proche de celle de la Terre avec de l'eau liquide à la surface. L'effet de serre a probablement causé l'évaporation de l'eau de surface et la hausse du niveau des gaz à effet de serre qui a suivi. L'atmosphère de Vénus a donc attiré l'attention de ceux étudiant le changement climatique sur Terre. Il n'y a aucune forme géologique sur la planète mettant en évidence la présence d'eau durant le milliard d'années passé. Les chercheurs s'accordent à dire que l'eau aurait existé pendant 600 millions d'années sur la surface avant de s'évaporer, bien que certains, tel que David Grinspoon, considèrent que ce laps de temps aurait pu être de 2 milliards d'années.

Observations et mesure depuis la Terre

La haute atmosphère de Vénus peut être mesurée depuis la Terre quand la planète passe devant le soleil, ce phénomène s'appelle un transit astronomique. Le dernier transit de Vénus a eu lieu en 2004. Utilisant la spectroscopie astronomique, les scientifiques ont été capable d'analyser la lumière solaire ayant traversé l'atmosphère de la planète afin de mettre en évidence les produits chimiques la composant. Ce transit a constitué une opportunité en considérant le manque d'information sur la couche d'atmosphère située entre 65 et 85 km. Le transit de 2004 a permis aux astronomes de recueillir un grand nombre de données utiles non seulement afin de déterminer la composition de l'atmosphère, mais aussi afin d'affiner les techniques dans la recherche de planètes extrasolaires. Un transit de Vénus devant le soleil est un évènement très rare, et celui précédent le transit de 2004 était en 1882. Le dernier a eu lieu en 2012 et le prochain ne se fera pas avant au moins 105 ans.



Transit de Vénus le 8 juin 2004

Explorations actuelles et futures

Venus Express orbite actuellement autour de la planète, sondant de plus en plus profondément l'atmosphère en utilisant l'imagerie infrarouge dans la partie du spectre comprise entre 1–5 μm. La sonde de la JAXA, PLANET-C lancée en 2010, devait étudier la planète pendant deux ans, dont la structure et l'activité de l'atmosphère. Suite à un incident, la sonde est actuellement en orbite mais ne peut effectuer sa mission. Une de ces 5 caméras, appelées "IR2", devrait être capable d'analyser l'atmosphère de la planète en dessous de son épaisse couche de nuages en plus de l'analyse de son mouvement et de ses composants.

Avec une orbite comprise entre 300 et 60 000 km, la sonde aurait pu prendre des photographies de la planète à basse altitude, et aurait dû être en mesure de confirmer la présence de volcans en activité et d'éclairs. Le Venus In-Situ Explorer, proposé par le programme New Frontiers de la NASA, était un projet de sonde qui aurait pu aider à la compréhension du processus ayant conduit aux changements climatiques. Un autre vaisseau, appelé Venus Mobile Explorer, a été proposé par le *Venus Exploration Analysis Group* (VEXAG) pour analyser la composition et faire des mesures isotopiques de la surface et de l'atmosphère, pendant 90 jours. Aucune date de lancement n'a encore été prévue. L'atmosphère de Vénus est extrêmement dense. Elle se compose majoritairement de dioxyde de carbone (CO₂) et d'une faible quantité d'azote. Cette atmosphère est occupée par d'épais nuages de dioxyde de soufre⁴. Ce mélange crée le plus fort effet de serre du Système solaire, permettant d'atteindre des températures de surface tournant autour des 460 °C. La température de surface de Vénus est supérieure à celle de Mercure (420 °C), bien que Vénus se situe à près de deux fois la distance Mercure-Soleil et ne reçoive donc qu'environ 25 % de l'irradiance solaire de Mercure. Il n'y a que très peu d'ozone présent dans l'atmosphère vénusienne et donc aucune stratosphère. L'atmosphère vénusienne peut se diviser sommairement en trois parties : la basse atmosphère, la couche nuageuse et la haute atmosphère.

Basse atmosphère

La **basse atmosphère** (*lower haze region*) se situe entre 0 et 48 km d'altitude et est relativement transparente. La composition de la basse atmosphère est décrite dans le tableau ci-dessous. Le dioxyde de carbone y domine largement, le gaz secondaire étant l'azote. Tous les autres sont des constituants mineurs (~300 ppm en tout).

Composition de la basse atmosphère de Vénus	
Élément ou molécule	Pourcentage dans la basse atmosphère (en dessous des nuages)
Dioxyde de carbone	~96,5 %
Diazote	~3,5 %
Dioxyde de soufre	0,0150 %
Argon	0,0070 %
Vapeur d'eau	0,0020 %
Monoxyde de carbone	0,0017 %
Hélium	0,0012 %
Néon	0,0007 %

Couche nuageuse - Il y a plusieurs couches de nuages situées entre 45 km et 70 km. Cette couche nuageuse opaque réfléchit la lumière solaire, ce qui explique la brillance de Vénus et empêche d'observer directement le sol vénusien depuis la Terre. La couche nuageuse, présente notamment du dioxyde de soufre et de l'eau (à l'état solide comme gazeux) ainsi que de l'acide sulfurique sous forme de gouttelettes. Le dioxyde de carbone y domine toujours.

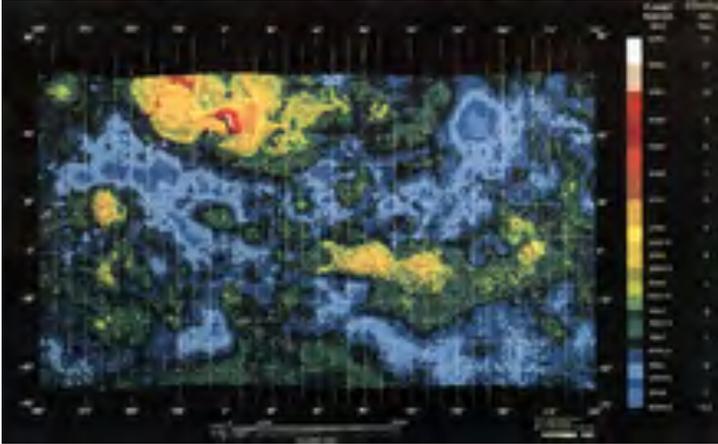
Cette couche se subdivise en trois sous-couches :

1. La **couche inférieure ou basse** (*lower cloud region*), de 31 à 51 km. De 31 à 48 km d'altitude, l'atmosphère est qualifiée de *brumeuse* à cause de la faible quantité de particules d'acide sulfurique qu'elle contient. Ces nuages d'acide sulfurique sont visibles depuis le sol comme des rubans de vapeur jaunis par le soufre qu'ils contiennent;
2. La **couche centrale ou principale** (*middle cloud region*) de 51 à 52 km d'altitude, relativement claire;
3. La **couche supérieure ou haute** (*upper cloud region*), de 52 à 68 km d'altitude. De 52 à 58 km d'altitude, elle consiste notamment en des gouttelettes d'acide sulfurique et d'acide chlorhydrique ainsi que des particules de soufre (liquides comme solides). Les gouttelettes d'acide sulfurique sont en solution aqueuse, constituées à 75 % d'acide sulfurique et à 25 % d'eau. Enfin, la plus haute partie de la couche supérieure, de 58 à 68 km d'altitude, consisterait en une brume de cristaux de glace. Ce sont ces cristaux qui donnent à Vénus son apparence « laiteuse » vue depuis la Terre.

Haute atmosphère

La haute atmosphère (*upper haze region*) se situe entre 68 et 90 km d'altitude. Elle est principalement composée de dioxyde de carbone, qui y est majoritaire à plus de 96 %, le reste étant principalement du diazote (~3,5 %). Il s'y trouve aussi des traces de monoxyde de carbone. On y retrouve des nuages formés de gouttelettes d'acide sulfurique à 70 km.

Surface



Profil topographique de Vénus : au nord-ouest, les plateaux d'Ishtar Terra et de Lakshmi Planum (en ocre clair), où culmine le mont Maxwell (en rouge et blanc); au sud de l'équateur, le plateau d'Aphrodite Terra, avec le volcan Maat Mons tout à fait à l'est (en ocre et rouge); au sud-est, Alpha Regio en vert très foncé, et, plus à l'ouest, en ocre, Beta Regio; en vert et bleu foncé, les vastes plaines de Vénus; en bleu plus clair, les vastes dépressions vénusiennes.

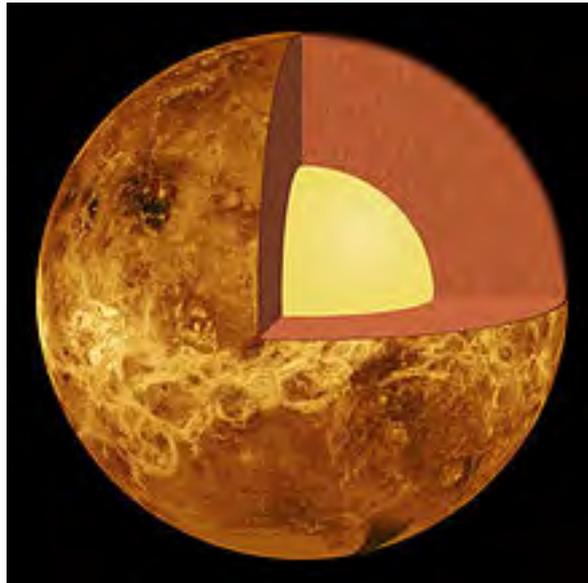
Vénus ayant un aplatissement nul, les altitudes y sont définies par rapport au rayon moyen volumétrique de la planète, qui vaut 6 051,84 km. C'est une planète au relief assez peu accidenté : les quatre cinquièmes de sa surface sont recouverts de plaines volcaniques à faible pente. La surface vénusienne est principalement occupée à hauteur de 70 % par de vastes plaines sans grand relief. Baptisées *planitiae* en géomorphologie planétaire, les principales d'entre elles ont reçu un nom dans le cadre de la nomenclature maintenue par l'UAI, comme Atalanta Planitia, Guinevere Planitia ou encore Lavinia Planitia. Elles sont parsemées de grands bassins (de 400 à 600 km de diamètre) peu profonds (de 200 à 700 m) qui seraient des vestiges de cratères anciens.

Ces plaines, de nature *a priori* volcanique, se creusent par endroits jusqu'à 2 900 m sous le niveau moyen de la surface, au niveau de dépressions couvrant environ un cinquième de la surface de la planète. Les reliefs élevés couvrent environ le dixième de la surface de Vénus, sous forme de plateaux et de montagnes. Deux vastes régions élevées, très différentes l'une de l'autre et qui seraient en quelque sorte l'équivalent vénusien des continents terrestres, sont particulièrement remarquables par leurs dimensions et leur relative cohérence topographique :

- Ishtar Terra, dans l'hémisphère nord de Vénus, dans les régions polaires. Ses dimensions de 3 700×1 500 km sont un peu supérieures à celles de l'Australie. Il s'agit d'un ensemble géologique essentiellement volcanique à l'ouest, avec notamment la très remarquable formation baptisée Lakshmi Planum, et orogénique à l'est, où se trouve Skadi Mons, point culminant de la planète à 10 700 m, dans la chaîne des Maxwell Montes, puis l'immense Fortuna Tessera qui est une région de terrains typiquement vénusiens;
- Aphrodite Terra, trois fois plus étendue mais aux reliefs bien moins élevés, située le long de l'équateur essentiellement dans l'hémisphère sud. Il s'agit de fragments de plateaux dans un ensemble de *tesserae* prolongé au sud-est et surtout au nord-est par des *coronae* et des volcans, parmi lesquels Maat Mons, le plus haut volcan vénusien.

D'autres régions élevées, de moindre importance, existent également. C'est le cas d'Alpha Regio, une série de cuvettes, d'arêtes, et de plis qui s'agencent dans toutes les directions avec une altitude moyenne de 1 à 2 km; ou encore de Beta Regio, remarquable puisqu'on y aurait trouvé de hautes formations volcaniques dont certains sommets, récents, dépasseraient 5 000 m d'altitude. Vénus possède également des structures planétaires rares, les couronnes. Ce sont d'énormes ravins circulaires entourant une sorte de plateau.

F) Surface de Vénus - Géologie

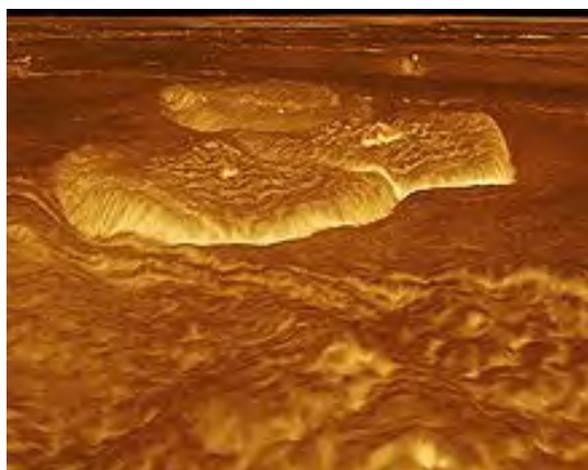


Vénus présente une structure interne semblable à celle de la Terre : croûte, manteau et noyau

Vénus ressemble à la Terre par sa taille (6 051 km de rayon contre 6 378 km pour la Terre) et par sa densité (5,26 contre 5,52). Plusieurs auteurs supposent que les deux planètes ont une structure interne comparable.

Croûte

La croûte silicatée, de 20 km d'épaisseur environ, serait plus épaisse que la croûte océanique terrestre (moyenne de 6 km), mais plus fine que la croûte continentale terrestre (moyenne de 30 km). La taille de la croûte vénusienne a été déduite des nombreux épanchements de lave constatés autour des cratères d'impact. Cette croûte ne représenterait que 0,34 % du rayon de la planète et les analyses faites par les différentes sondes Venera ont prouvé que le matériau extérieur de Vénus est semblable au granite et au basalte terrestre (roches riche en silice et ferromagnésiennes). Le système de plaques continentales y serait moins complexe que sur Terre : les roches plus plastiques absorbent fortement les effets de la dérive des continents. Ainsi, Vénus n'a pas de plaques tectoniques comme celles de la Terre. Cette différence fondamentale entre la géologie des deux planètes telluriques les plus ressemblantes, peut être attribuée à leur évolution climatique divergente. En effet, le climat vénusien empêche l'eau de se conserver à la surface, desséchant irréversiblement les roches de la croûte. Or l'eau interstitielle des roches joue un grand rôle dans la subduction sur Terre, où elle est conservée dans ses océans. Les roches terrestres contiennent toutes un minimum d'eau résiduelle, ce qui n'est pas le cas dans les conditions du climat infernal de Vénus.



Quatre « galettes » orientales de Seoritsu Farra, à l'est d'Alpha Regio

Volcanisme et impacts météoritiques

La surface de Vénus est dominée par un intense **volcanisme** et produit plus de volcans que les autres planètes du système solaire. Elle a une surface composée à 90 % de basalte, et environ 80 % de la planète est constitué d'une mosaïque de roches volcaniques et de plaines de lave, indiquant que le volcanisme a joué un rôle majeur dans l'élaboration de sa surface.

Les scientifiques pensent que la planète a dû connaître un grand événement de resurfaçage (renouvellement quasi complet de sa surface) il y a environ 300 ou 500 millions d'années, d'après la densité des cratères d'impact sur la surface. Même s'il y a plus de 1 600 principaux volcans sur Vénus, aucun n'est connu pour être en éruption à l'heure actuelle et la plupart sont probablement depuis longtemps éteints. Toutefois, les radars de la sonde Magellan ont révélé des preuves d'une relative activité volcanique récente sur Vénus. Le plus haut volcan de la planète est le Maat Mons. Bien que de nombreux faits suggèrent que Vénus soit susceptible d'avoir une activité volcanique aujourd'hui, aucune éruption du Maat Mons n'a été confirmée. En avril 2010, Suzanne E. Smrekar a annoncé la découverte de trois volcans en activité, ce qui suggère que Vénus a régulièrement refait sa surface par des coulées de lave. L'absence de tectonique des plaques suggère que la chaleur s'accumule périodiquement sous la croûte. Lorsque la pression devient trop forte, toutes les quelques centaines de millions d'années, la planète entre en éruption généralisée, libérant d'énormes quantités de lave, entraînant alors le renouvellement de la surface.

La 45^e Conférence sur la science lunaire et planétaire (qui s'est tenue du 17 au 21 mars 2014) a permis de présenter ce qui pourrait être la preuve d'un volcanisme en cours sur la planète. En effet, grâce à sa VMC (*Venus Monitoring Camera*) et par le biais d'observations effectuées les 22 et 24 juin 2008 puis le 13 octobre de la même année, la sonde européenne Venus Express aurait détecté des tâches brillantes et éphémères dans la région de Ganiki Chasma. Réalisées dans une longueur d'onde d'un micromètre, ces détections mettent en évidence des températures au sol anormalement élevées, au sein d'un rift localisé dans une région assez jeune, pouvant être dues à une éruption ou une coulée de lave. La nature de ces tâches n'a toutefois pas été formellement identifiée, celles-ci pouvant également être dues à l'atmosphère de la planète.

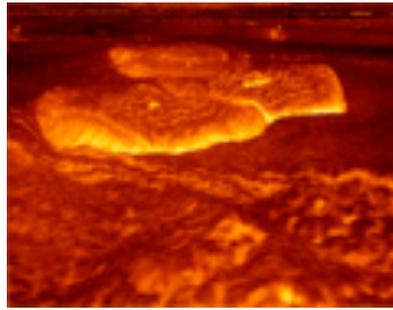
Caractéristiques

La surface de Vénus possède :

- Des volcans bouclier. Sur Vénus, où il n'y a pas de plaques tectoniques ou de l'eau de mer, les volcans sont de type bouclier. Néanmoins, la morphologie des volcans boucliers de Vénus est différente : sur la Terre, les volcans boucliers peuvent mesurer quelques dizaines de kilomètres de large et jusqu'à 10 kilomètres de haut (dans le cas de Mauna Kea et mesurée à partir du plancher océanique). Sur Vénus, ces volcans peuvent couvrir des centaines de kilomètres, mais ils sont relativement plats, avec une hauteur moyenne de 1,5 kilomètre.
- Des coulées de lave généralisée (plaines de laves).
- Des volcans inhabituels appelés littéralement, *dôme en crêpe* ou *crêpes*, *pancake domes* en anglais. C'est une forme de volcanisme typique de Vénus. Ce sont des dômes en forme de galettes, de diamètre d'environ 25 km, pour une altitude maximum de 750 m. Ils auraient été formés par des éruptions de lave visqueuse, ne pouvant s'écouler loin du volcan, riche en silice, sous la forte pression atmosphérique de Vénus, peut-être au cours de plusieurs éruptions successives, chacune augmentant un peu l'altitude, et obstruant la cheminée.
- Des *Couronne* ou *Corona*. C'est un mot créé par des chercheurs soviétiques, pour désigner des structures elliptiques observées sur les images des sondes Venera 15 et 16. Le centre est plus ou moins irrégulier. Il est cerné par des anneaux concentriques de rides séparées par des sillons. On peut compter jusqu'à 12 rides autour d'une *corona*. Ce sont des structures typiques de Vénus, rares dans les basses terres, fréquentes dans les plaines vallonnées. On a recensé 176 coronae, dont les diamètres vont de 60 à 2 000 km, le diamètre moyen étant de 250 km, et couvrant 49 000 km². La largeur de l'anneau va de 10 à 150 km. Les coronae sont assez bien réparties sur la planète, mais avec tout de même un regroupement entre Aphrodite Terra (Atla Regio) et le groupe Beta, Phoebe et Themis Regiones.



Image radar sur 65-km de large de dômes en crêtes dans la région Eistla Vénus



Vue en perspective par ordinateur de dômes en crête sur Vénus (Alpha Regio)



Arachnoïdes à la surface de Vénus

- Autres caractéristiques uniques de la surface de Vénus, les *Novas (novae)* (réseaux radiaux de Dyke ou Grabens) et les *Arachnoïdes* (structures analogue à la précédente : La croûte se fracture autour d'une *corona*, en de nombreux Grabens radiaux. Une nova est formée lorsque de grandes quantités de magma sont extrudées sur la surface pour former des crêtes et des tranchées qui sont très réfléchissantes pour les radars. Elles forment un réseau symétrique autour d'un point central d'où la lave émerge, et où il peut y avoir une dépression causée par l'effondrement de la chambre magmatique. Les *Arachnoïdes* (dont le diamètre peut atteindre plusieurs centaines de km) sont ainsi nommés parce qu'ils ressemblent à une toile d'araignée, avec plusieurs ovales concentriques entourés par un réseau complexe de fractures radiales similaires à ceux d'une *nova*. On ne sait pas si celles-ci partagent une origine commune, ou sont le résultat de différents processus géologiques.
- Des « tic-like » des structures qui ne sont pas présents sur la Terre, appelés aussi en anglais *Scalloped margin dome*. Ils sont communément appelés *tiques*, car ils apparaissent comme des dômes avec de nombreuses jambes. Ils sont considérés comme ayant subi des mouvements tels que les glissements de terrain. Parfois, des dépôts de débris sont dispersés autour d'eux.

Il reste sur Vénus un volcanisme résiduel, entraînant parfois la présence de lave en fusion au sol. D'ailleurs, la surface de Vénus semble jeune, affichant moins d'un milliard d'années du fait d'un volcanisme actif relativement récent. Un épisode généralisé aurait eu lieu il y a 600 Ma. Émergeant d'un plateau accidenté situé dans l'ouest d'Eistla Regio, le volcan bouclier Gula Mons atteint une altitude de 3 000 m. Dans la vaste région des hautes terres de Beta Regio, il est dominé par deux monts imposants. Le premier, Rhea, est situé à 800 km du deuxième, nommé Theia Mons. *Rhea* est un massif soulevé, entaillé par une vallée axiale, Devana Chasma, longue de 4 600 km, alors que *Theia* est un volcan. Les reliefs auraient à 80 % une origine volcanique et certaines montagnes seraient des coulées de lave. Les sondes soviétiques Venera 15 et Venera 16 ont répertorié plusieurs cratères à la surface de cette planète.

Manteau et noyau

Vénus posséderait un manteau rocheux représentant environ 52,5 % du rayon de la planète, composé essentiellement de silicates et d'oxydes de métaux. Le noyau de Vénus serait constitué de deux parties : un noyau externe constitué de fer et de nickel liquides qui représenterait environ 30 % du rayon de la planète; un noyau interne composé de fer et de nickel solides qui représenterait environ 17 % du rayon de Vénus. Mais cette précision est spéculative en 2009, car contrairement à la Terre, il n'y a pas eu de mesures sismiques. Il n'est pas impossible que le noyau de Vénus soit entièrement liquide. Certains indices pourraient aller dans ce sens, comme l'absence de champ magnétique.

Champ magnétique

Vénus possède un champ magnétique très faible, et traîne dans son sillage une queue de plasma longue de 45 millions de kilomètres, observée pour la première fois par la sonde SOHO en 1997. L'existence d'un noyau externe de fer liquide (conducteur) tournant sur lui-même crée normalement un champ magnétique par effet dynamo, comme c'est le cas pour la Terre et Mercure. Cependant, Vénus ne possède pas de champ magnétique intrinsèque. En effet, le champ magnétique de Vénus est très faible, et ne résulte que de l'interaction directe de l'ionosphère avec le vent solaire. L'absence de dynamo s'expliquerait par un manque de convection dans le noyau de Vénus. Cette absence serait due d'une part à la rotation très lente de la planète, mais aussi au faible gradient thermique d'un manteau moins refroidi que celui de la Terre, ce qui empêcherait la solidification du noyau vénusien, limitant grandement la séparation des divers constituants et impuretés, et de là les mouvements internes du fluide métallique du noyau, qui génèrent le champ magnétique.

G) Rotation de Vénus

L'un des faits les plus remarquables des paramètres orbitaux de Vénus est sa rotation rétrograde : elle tourne sur elle-même, de façon très lente, dans le sens indirect, alors que les planètes du Système solaire ont le plus souvent un sens direct. Vénus fait donc exception à la règle (on peut citer également le cas d'Uranus). Sa période de rotation n'est connue que depuis 1962, date à laquelle des observations radar menées par le *Jet Propulsion Laboratory* ont permis d'observer la surface de la planète au travers de l'épaisse atmosphère. Cette rotation très lente, et qui plus est rétrograde, produit des jours solaires bien plus courts que son jour sidéral, alors qu'ils sont plus longs pour les planètes avec une rotation dans le sens direct. Rappelons que le jour solaire est l'intervalle (moyen) entre deux passages consécutifs du Soleil au méridien. Par exemple, la Terre a un jour solaire (moyen) de 24 h et un jour sidéral de 23 h 56 min 4,09 s. Sur Vénus, le jour solaire est de 116,75 jours terrestres (116 j 18 h), alors que le jour sidéral est de 243,023 jours terrestres. Le jour solaire vénusien se calcule comme suit : à partir de la période de révolution de 224,7 j et de la période de rotation sidérale *rétrograde* de 243,018 j, on obtient

$$j_{sol} = \left(\frac{1}{224.7} + \frac{1}{243.018} \right)^{-1} = 116.75j$$

On a donc un peu moins de 2 jours solaires complets pendant la durée d'une année vénusienne. Les journées et les nuits vénusiennes s'étendent tout de même sur près de 2 mois terrestres : 58 j 9 h. Par ailleurs, une année vénusienne est légèrement plus courte qu'un jour sidéral vénusien, dans un rapport de 0,924.

Origine de la rotation rétrograde

Les causes de la rotation rétrograde de Vénus sont encore mal comprises. L'explication qui a été le plus souvent avancée est une collision gigantesque avec un autre corps de grande taille, pendant la phase de formation des planètes du Système solaire.

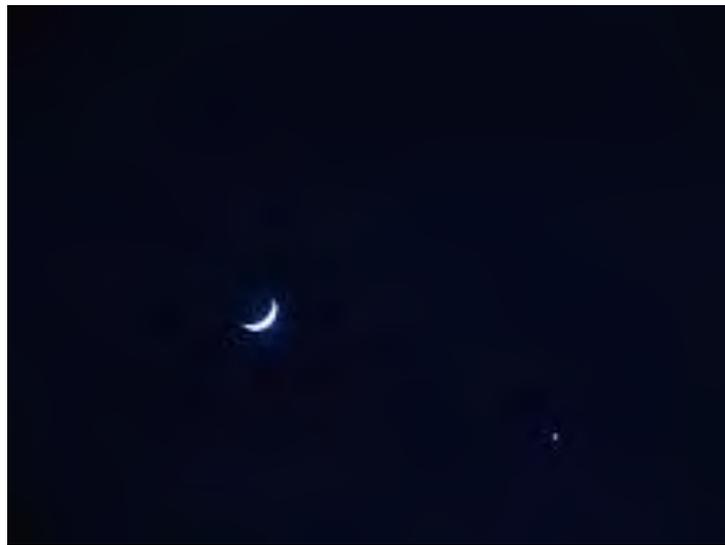
Une autre explication met en jeu l'atmosphère vénusienne qui, du fait de sa forte densité, a pu influencer la rotation de la planète. Des travaux de Jacques Laskar et Alexandre C. M. Correia prenant en compte les effets de marée thermique atmosphérique montrent le comportement chaotique de l'obliquité et de la période de rotation de Vénus. Vénus aurait donc pu évoluer naturellement vers une rotation rétrograde, qui est un état d'équilibre des différents effets de marée, sans avoir à faire intervenir de collision avec un corps massif. Il n'est cependant pas possible de savoir si l'obliquité de Vénus est passée brusquement de 0° à 180° au cours de son histoire ou si sa vitesse de rotation s'est ralentie jusqu'à une vitesse nulle pour ensuite devenir négative. Les deux scénarios sont possibles et aboutissent au même état d'équilibre actuel.

L'hypothétique synchronisation Terre-Vénus

Les jours solaires vénusiens sont tels que Vénus présente la même face aux observateurs terrestres lors de chaque conjonction inférieure : Vénus dans l'axe Terre-Soleil; la Terre en opposition vénusienne. En effet, la période entre 2 conjonctions inférieures se déroule sur 5 jours solaires vénusiens (une « semaine vénusienne » en quelque sorte). Cette révolution synodique de Vénus (vue de la Terre) fait 584 jours (583,92108 j exactement), ce qui est effectivement très proche de 5 jours solaires : $5 \times 116,7505$ j. Il a été discuté de cette synchronisation Terre-Vénus (les deux principales planètes telluriques). Mais il

semblerait bien que l'influence des marées terrestres sur Vénus soit trop ténue pour l'imposer, d'autant qu'elle n'est pas exacte : $583,92108/116,7505 \approx 5,0014$; et pas exactement 5. Tandis que le verrouillage gravitationnel de la Lune sur la Terre (1:1) ou de celui de la rotation de Mercure sur sa révolution (3:2) sont exacts et stabilisés.

Observation



Observation nocturne de Vénus (à droite de la Lune)

Vénus est la deuxième planète du Système solaire en partant du Soleil et le troisième objet naturel le plus brillant du ciel avec une magnitude apparente variant entre -4,6 et -4,7. Il est possible, à certaines périodes de l'année, d'apercevoir la planète en plein jour. Comme Vénus est sur une orbite plus proche du Soleil que celle de la Terre, elle ne semble jamais loin du Soleil vue depuis la Terre. Son élongation atteint un maximum de 47,8°. Elle n'a pas de satellite naturel connu. On peut observer, comme avec la Lune, des phases de la planète selon leur moment d'apparition dans l'année. Leur observation a été faite pour la première fois au début du XVII^e siècle par Galilée à l'aide de sa lunette astronomique. Elles ont été un argument utilisé par ce dernier pour se rallier à la théorie héliocentrique de Copernic.

Analogie avec la Terre

De par sa taille et sa masse, Vénus est très similaire à la Terre et a souvent été décrite comme la *sœur jumelle* de cette dernière. Les deux planètes sont semblables, autant par des aspects physiques qu'orbitaux :

- Elles sont nées à peu près en même temps, il y a 4,6 milliards d'années, dans le même nuage de gaz et de poussière;
- Vénus et la Terre sont toutes deux des planètes du Système solaire interne;
- Leurs surfaces montrent un terrain diversifié : montagnes, plaines, plateaux élevés, gorges, volcans, arêtes et cratères d'impact;
- Les deux ont peu de cratères, signe d'une surface relativement jeune et d'une atmosphère dense;
- Leurs compositions chimiques sont très proches.

Comparaison de propriétés physiques de Vénus et de la Terre			
Propriétés physiques	Vénus	Terre	Rapport Vénus/Terre
Masse	4,8685×10 ²⁴ kg	5,9736×10 ²⁴ kg	0,815
Rayon équatorial	6 051 km	6 378 km	0,948
Densité moyenne	5,25	5,51	0,952
Demi-grand axe	108 208 926 km	149 597 887 km	0,723
Vitesse orbitale moyenne	35,02 km*s ⁻¹	29,79 km*s ⁻¹	1,175
Pesanteur extérieure équatoriale	8,87 m*s ⁻²	9,81 m*s ⁻²	0,906

Du fait de ces similitudes, des spécialistes ont longtemps pensé que, sous ses nuages denses, Vénus pourrait être très similaire à la Terre et peut-être même abriter la vie. Des études proposent même qu'il y a quelques milliards d'années, Vénus ait été beaucoup plus semblable à la Terre qu'elle ne l'est actuellement. En effet, il a été découvert qu'il y avait probablement des quantités importantes d'eau à sa surface. Cette eau se serait évaporée à la suite d'un important effet de serre créant ainsi un niveau de gaz à effet de serre critique dans l'atmosphère.



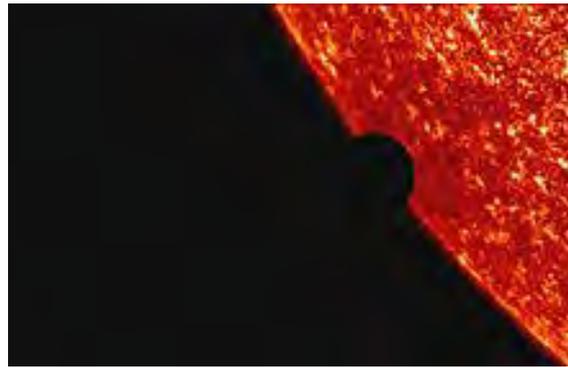
Photomontage comparatif des tailles des planètes telluriques (de gauche à droite) : Mercure, Vénus, la Terre et Mars

Comparaison de quelques caractéristiques physiques des quatre planètes telluriques du système solaire				
Planète	Rayon équatorial	Masse	Gravité	Inclinaison de l'axe
Mercure	2 439,7 km (0,383 Terre)	$3,302 \times 10^{23}$ kg (0,055 Terre)	3,701 m/s ² (0,377 g)	~0,01 °
Vénus	6 051,8 km (0,95 Terre)	$4,8685 \times 10^{24}$ kg (0,815 Terre)	8,87 m/s ² (0,904 g)	177,36 °
Terre	6 378,14 km	$5,9736 \times 10^{24}$ kg	9,780 m/s ² (0,99732 g)	23,45 °
Mars	3 402,45 km (0,533 Terre)	$6,4185 \times 10^{23}$ kg (0,107 Terre)	3,69 m/s ² (0,376 g)	25,19 °

Satellite et quasi-satellites de Vénus

En 1645, l'astronome italien Francesco Fontana déclara avoir découvert un satellite autour de Vénus. Cassini affirma l'avoir observé deux fois (en 1672 et en 1686). Lagrange, lui l'aperçut en 1761, et Johann Heinrich Lambert calcula son orbite en 1773. Jusqu'à la fin du XIX^e siècle, la communauté astronomique semblait persuadée de l'existence de ce satellite qui reçut un nom, Neith. On sait depuis qu'il n'existe pas. Cependant, le quasi-satellite 2002 VE₆₈, découvert en 2002, (et qui n'a rien à voir avec Neith) exerce autour d'elle une révolution en orbite en fer à cheval. Il ne s'agit pas d'un satellite car il n'est pas gravitationnellement lié à Vénus, mais cependant sa révolution autour du Soleil l'amène à avoir une trajectoire qui fait dans le même temps un tour autour de Vénus, selon une trajectoire en U (d'où le nom de quasi-satellite). Vénus possède un autre quasi-satellite : (322756) 2001 CK₃₂. Les recherches afin de trouver un satellite naturel de Vénus sont toujours en cours.

III Les transits de Vénus

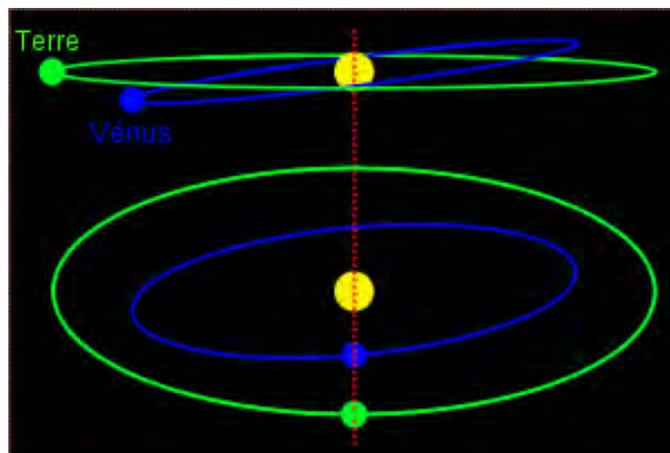


Transit de Vénus le 8 juin 2004 (spectre UV)

Un **transit de Vénus** devant le Soleil se produit lors du passage de la planète Vénus exactement entre la Terre et le Soleil, occultant une petite partie du disque solaire. Pendant le transit, Vénus peut être observée depuis la Terre sous la forme d'un petit disque noir se déplaçant devant le Soleil. La durée de tels transits est en général de quelques heures (celui de 2004 dura 6 heures). Un transit est similaire à une éclipse solaire par la Lune, mais bien que Vénus fasse presque quatre fois la taille de la Lune, elle apparaît bien plus petite du fait de la distance plus importante la séparant de la Terre; et également de sa plus grande proximité avec le Soleil. Avant l'ère spatiale, l'observation de transits de Vénus aida les scientifiques à calculer la distance Terre-Soleil par la méthode de la parallaxe. Les transits de Vénus font partie des phénomènes astronomiques prévisibles les moins fréquents et se produisent actuellement suivant une séquence qui se répète tous les 243 ans, avec des paires de transits espacés de 8 ans séparés par 121,5 puis 105,5 ans. Avant 2004, la paire de transit précédente date de décembre 1874 et décembre 1882. Le premier de la paire de transits du début du XXI^e siècle a eu lieu le 8 juin 2004 et le suivant a eu lieu le 6 juin 2012. Après 2012, les prochains transits auront lieu en 2117 et 2125. Un transit de Vénus peut être observé en toute sécurité avec les mêmes précautions que pour l'observation des phases partielles d'une éclipse solaire. Fixer le disque solaire sans protection entraîne rapidement des dégâts oculaires sérieux et parfois des lésions permanentes².

Conjonctions

Dans la plupart des cas, lorsque Vénus et la Terre sont en conjonction, elles ne sont pas alignées avec le Soleil. L'orbite de Vénus est inclinée de $3,4^\circ$ par rapport à celle de la Terre et passe donc en dessous (ou au-dessus) du Soleil dans le ciel. Observée depuis la Terre, Vénus en conjonction inférieure peut être écartée jusqu'à $9,6^\circ$ du Soleil bien que l'inclinaison ne soit que de $3,4^\circ$. Comme le diamètre angulaire du Soleil est d'environ $1/2$ degré, Vénus passe alors au-dessus ou en dessous du Soleil à plus de 18 diamètres solaires. Le transit advient quand les deux planètes sont en conjonction au moment (ou presque au moment) où elles croisent la ligne d'intersection de leurs plans orbitaux.



Schémas de conjonctions avec Vénus, avec ou sans transit suivant que la conjonction intervienne ou non à la ligne des nœuds

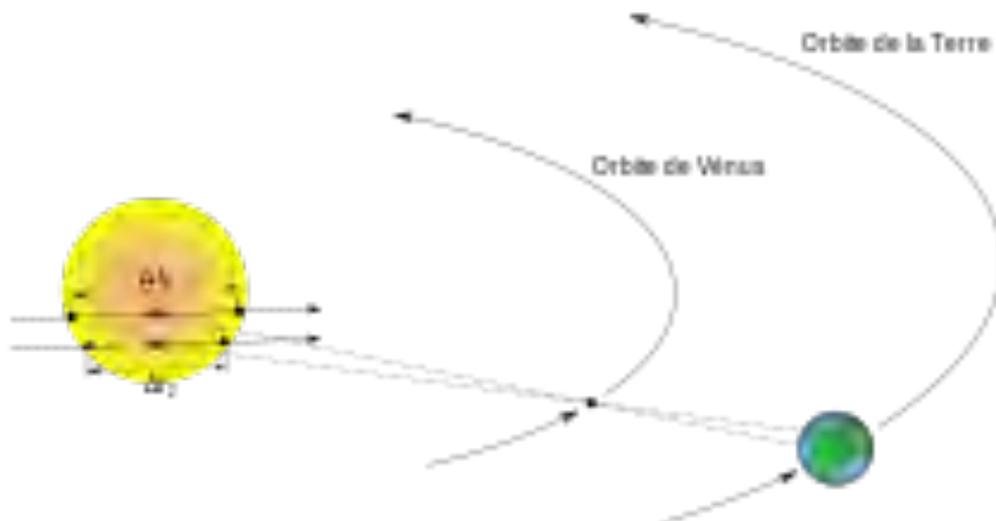
Les transits se répètent suivant une séquence de 243 ans avec une paire de transits séparés de 8 ans suivis d'un intervalle de 121,5 ans, une autre paire de transits séparés de 8 ans et un intervalle de 105,5 ans. Cette période de 243 ans provient du fait que 243 années sidérales (365,25636 jours, un peu plus que l'année tropique) fait 88757,3 jours et 395 années sidérales de Vénus (224,701 jours) fait 88757,9 jours. Ainsi, après cette période, Vénus et la Terre sont revenues quasiment aux mêmes positions sur leur orbite. Cette période correspond à 152 périodes synodiques de Vénus. La séquence 105,5 / 8 / 121,5 / 8 n'est pas la seule possible dans la période de 243 ans à cause du léger décalage entre la conjonction et le passage à la ligne des nœuds. Avant 1518, il n'y avait que trois transits tous les 243 ans suivant la séquence 8 / 113,5 / 121,5, et les huit transits précédant celui de l'an 546 étaient espacés de 121,5 ans. La séquence actuelle continuera jusqu'en 2846 et sera alors remplacée par la séquence 105,5 / 129,5 / 8. Ainsi, la période de 243 ans est relativement stable mais le nombre de transits et leur espacement pendant cette période change au cours des âges.

Histoire ancienne

Dans l'Antiquité, les astronomes grecs, égyptiens, babyloniens et chinois connaissaient Vénus et notaient ses mouvements. Les Grecs anciens pensaient que les apparitions matinales et vespérales de Vénus correspondaient à deux objets différents, *Hesperus* l'étoile du soir et *Phosphorus* l'étoile du matin. On attribue à Pythagore la découverte qu'il s'agissait de la même planète. Au IV^e siècle av. J.-C., Héraclide du Pont a émis l'hypothèse que Vénus et Mercure orbitaient autour du Soleil et non de la Terre. Aucun élément ne permet d'affirmer que ces cultures connaissaient les transits. Vénus était importante pour les civilisations précolombiennes, en particulier pour les Mayas qui la nommaient *Chak ek*, « la grande étoile » et lui accordaient peut-être plus d'importance qu'au Soleil; ils identifiaient Vénus au dieu Kukulcan (équivalent maya de Quetzalcoatl) et basaient leur calendrier essentiellement sur les cycles de Vénus. Dans le Codex de Dresde, les Mayas tracèrent le cycle complet de Vénus, mais malgré leur connaissance précise de ses mouvements, ils ne mentionnent pas le transit.

Observations modernes

Argument scientifique



Mesure des heures de transit de Vénus pour déterminer la parallaxe solaire

Au-delà de sa rareté, l'intérêt de l'observation d'un transit de Vénus est qu'il permet de calculer la taille du système solaire en employant la méthode des parallaxes. La technique consiste à mesurer la légère différence de l'heure de début (ou de fin) du transit observé depuis des points très éloignés de la surface terrestre. L'écart entre les lieux d'observation permet de calculer la distance Soleil-Vénus par triangulation. Bien qu'au XVII^e siècle les astronomes sussent calculer les distances relatives de chaque planète par rapport au Soleil en termes de distance Terre-Soleil (c'est-à-dire en unité astronomique), cette unité de base n'avait jamais été précisément mesurée. Johannes Kepler fut le premier à prédire un transit de Vénus pour 1631, mais il ne fut pas observé car la prédiction de Kepler n'était pas assez précise pour déterminer que le transit ne serait pas visible depuis la plupart des régions de l'Europe.



Jeremiah Horrocks faisant la première observation du transit de Vénus de 1639.

La première observation d'un transit de Vénus fut faite par Jeremiah Horrocks depuis son domicile de Much Hoole près de Preston en Angleterre, le 4 décembre 1639 (le 24 novembre selon le calendrier julien alors en vigueur dans ce pays). Son ami William Crabtree observa le transit depuis Salford près de Manchester. Kepler avait prédit les transits de 1631 et 1761 et un frôlement en 1639. Horrocks corrigea les paramètres orbitaux de Vénus établis par Kepler et remarqua que les transits de Vénus auraient lieu par paire séparée de 8 ans et put ainsi prédire celui de 1639. Bien qu'il ne fut pas certain de l'heure exacte, il calcula que le transit commencerait approximativement à 15h. Horrocks focalisa l'image du Soleil sur un morceau de carton à l'aide d'un simple télescope pour l'observer en toute sécurité. Après avoir attendu toute la journée, il eut la chance de voir le transit alors que les nuages qui masquaient le Soleil se dégagèrent à 15h15, juste une heure avant le coucher de Soleil. Ses mesures lui permirent de faire des estimations soutenables aussi bien sur la taille de Vénus que sur la distance Terre-Soleil. Son estimation de la distance Terre-Soleil fut de 95,6 millions de kilomètres (soit 0,639 ua) — à peu près les deux tiers de la distance réelle, mais la mesure la plus précise de l'époque. Cependant, les observations de Horrocks ne furent publiées qu'en 1661, bien après sa mort.

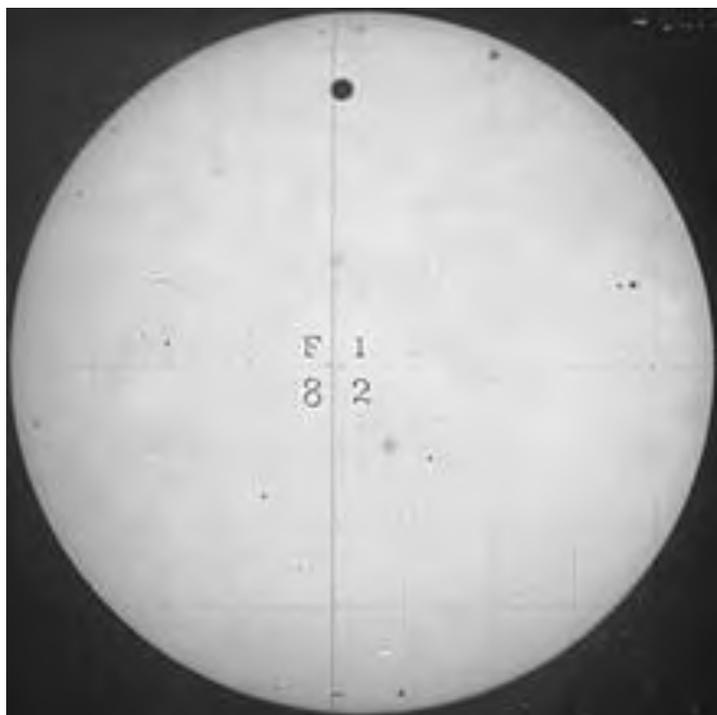
1761 et 1769

En s'appuyant sur l'observation du transit de Vénus de 1761 depuis l'observatoire de Saint-Pétersbourg, Mikhaïl Lomonossov prédit l'existence d'une atmosphère sur cette planète. Lomonossov détecta la réfraction des rayons solaires et en déduisit que seule la présence d'une atmosphère pouvait expliquer l'apparition d'un anneau de lumière autour de la partie de Vénus qui n'était pas encore en contact avec le disque solaire au début du transit.

La paire de transits de 1761 et 1769 fut utilisée pour calculer précisément la valeur de l'unité astronomique par la méthode des parallaxes décrite par James Gregory dans *Optica Promota* en 1663. Suivant la proposition faite par Edmond Halley (alors décédé depuis près de vingt ans), de nombreuses expéditions furent organisées vers divers endroits du monde pour observer ces transits; préfigurant les futures collaborations scientifiques internationales. Afin d'observer le premier transit, des scientifiques et explorateurs britanniques, autrichiens et français (tel Jean Chappe) partirent vers des destinations telles que la Sibérie, la Norvège, Terre-Neuve et Madagascar. La plupart réussirent à observer au moins une partie du transit, mais le meilleur résultat fut obtenu par Jeremiah Dixon et Charles Mason au Cap de Bonne-Espérance. Pour le transit de 1769, les scientifiques allèrent dans la baie d'Hudson, en Basse-Californie (alors gouvernée par l'Espagne) et en Norvège en plus du premier voyage du capitaine Cook destiné à mener cette observation depuis Tahiti. L'astronome tchèque Christian Mayer fut invité par Catherine II de Russie pour observer le transit depuis Saint-Pétersbourg, mais ses observations furent surtout gênées par les nuages. L'infortuné Guillaume Le Gentil passa huit ans à voyager dans l'océan indien pour tenter d'observer les deux transits, mais sans succès dans les deux cas; son absence prolongée lui fit perdre son siège à l'Académie des sciences et ses possessions car ses lettres n'étant jamais arrivées en France, il fut déclaré mort (son histoire devint la trame de la pièce *Le Transit de Vénus* de Maureen Hunter). Malheureusement, il fut impossible de dater précisément le début ou la fin du transit à cause du « phénomène de la goutte noire ». Cet effet fut longtemps attribué à l'épaisse couche atmosphérique de Vénus, et était alors considéré comme la première preuve de l'existence de cette atmosphère. Cependant,

il est établi depuis au moins les années 1970 que cet effet est un artefact instrumental, potentiellement amplifié par les turbulences atmosphériques terrestres ou les imperfections des appareils optiques. Contrairement à ce que suggère son titre, la référence suivante, omniprésente sur Internet, n'apporte rien de nouveau si ce n'est une confirmation observationnelle de plus du phénomène. En 1771, en recoupant les données des transits de 1761 et 1769, l'astronome français Jérôme Lalande établit la valeur de l'unité astronomique à 153 millions de kilomètres (± 1 million). La précision fut moins bonne qu'escomptée à cause du phénomène de la goutte noire, mais constituait une amélioration considérable par rapport aux calculs de Horrocks.

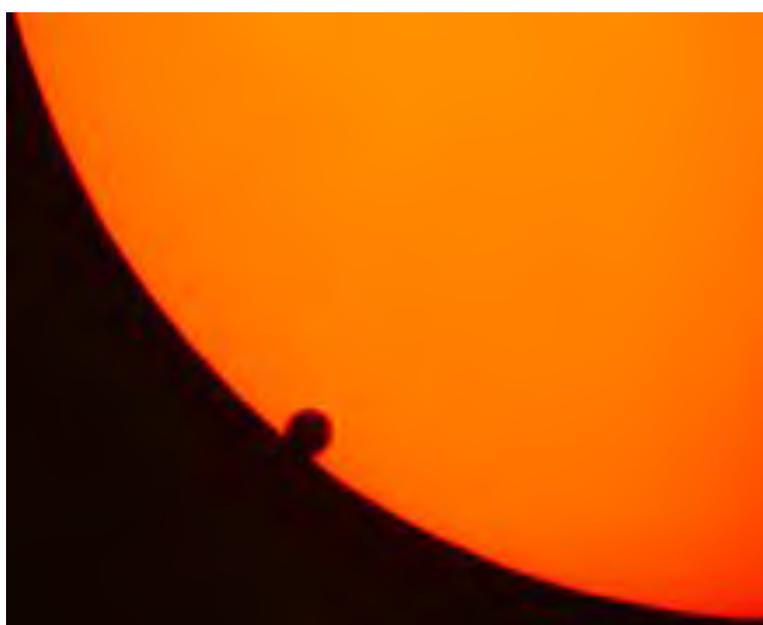
1874 et 1882



Le transit de Vénus de 1882

L'observation des transits de 1874 et 1882 permit d'affiner ce résultat. L'astronome américain Simon Newcomb recoupa les données des quatre derniers transits et en déduisit une valeur de $149,9 \pm 0,31$ Gm.

2004 et 2012



Le phénomène de la goutte noire observé pendant le transit de 2004

Les techniques modernes utilisant des sondes spatiales et la télémétrie radar ont permis de calculer la valeur de l'unité astronomique avec une précision de 30 m et rendent obsolète la méthode des parallaxes dans ce cadre. Le transit de 2004 suscita néanmoins l'intérêt des scientifiques qui mesurèrent les caractéristiques de la diminution de luminosité du Soleil occulté par Vénus, afin d'améliorer les techniques qu'ils comptent mettre en œuvre dans la recherche d'exoplanètes. Les méthodes de détection originelles se concentrent sur les exoplanètes très massives (plus semblables à Jupiter qu'à la Terre), dont la gravité est suffisante pour faire osciller son étoile de façon mesurable au niveau de son mouvement propre, de sa vitesse radiale ou de l'effet Doppler-Fizeau. Mesurer la baisse d'intensité lumineuse au cours d'un transit est potentiellement plus sensible et permettrait de détecter des planètes plus petites. Cependant, ces mesures requièrent une précision extrême, par exemple, le transit de Vénus provoque une diminution d'intensité du rayonnement solaire d'à peine 0,001 magnitude, et l'effet du transit des petites exoplanètes devrait être aussi faible. Les passages de 2004 et celui de 2012 intéressent également les scientifiques dans l'étude de l'atmosphère de Vénus. Lors de l'entrée et la sortie de Vénus du disque solaire, la lumière du Soleil est réfractée par l'atmosphère de la planète et fait apparaître une auréole autour de Vénus. C'est cette même auréole qui, observée par Mikhaïl Lomonossov en 1761, avait permis à ce dernier de découvrir l'atmosphère de Vénus. L'étude de la photométrie de cette auréole permet de déterminer des paramètres atmosphériques tels que l'échelle de hauteur ou l'altitude des nuages. Une expédition internationale est d'ailleurs organisée pour observer le passage depuis divers sites autour du Pacifique afin d'obtenir un maximum d'images de l'auréole.

Transits passés et futurs



William Crabtree effectuant la première observation du transit de Vénus.

Les transits se déroulent actuellement en juin ou décembre (voir la table). Ces dates avancent lentement dans les saisons; avant 1631, ils se produisaient en mai et novembre. Les transits arrivent en général par paire, espacés de 8 ans car la durée de 8 années terrestres correspond quasiment avec 13 années de Vénus, ce qui ramène les planètes dans les mêmes positions relatives au bout de cette période. Cette coïncidence explique les transits par paire, mais n'est pas assez précise pour engendrer des triplets car Vénus prend 22 heures d'avance à chaque transit. Le dernier transit qui n'est pas arrivé par paire remonte à 1153, le prochain sera en 3089.

Transits de Vénus passés					
Date du milieu du transit	Heure (UTC)			Notes	Tracé (HM Nautical Almanac Office)
	Début	Milieu	Fin		
7 décembre 1631	03:51	05:19	06:47	Prédit par Kepler.	[1]
4 décembre 1639	14:57	18:25	21:54	Premier transit observé par Horrocks et Crabtree.	[2]
6 juin 1761	02:02	05:19	08:37	Lomonossov observe l'atmosphère de Vénus.	[3]
3 juin 1769	19:15	22:25	01:35	Expédition du capitaine Cook à Tahiti.	[4]
9 décembre 1874	01:49	04:07	06:26	Expédition de Pietro Tacchini à Muddapur, en Inde et de Jacquemart aux îles Campbell.	[5]
6 décembre 1882	13:57	17:06	20:15	John Philip Sousa compose la marche <i>Le Transit de Vénus</i> à cette occasion [®] .	[6]
8 juin 2004	05:13	08:20	11:26	Transit de Vénus de 2004 : Transit largement diffusé en vidéo par divers médias.	[7]
6 juin 2012	22:09	01:29	04:49	Transit de Vénus de 2012 : Entièrement visible depuis Hawaii, l'Australie, le Pacifique et l'Asie orientale. Début du transit visible en Amérique du Nord, fin du transit visible en Europe de l'Ouest.	[8]

Frôlements et transits simultanés

Parfois, Vénus ne fait que frôler le disque solaire durant un transit. Dans ce cas, il est possible que certaines régions de la Terre ne voient qu'un transit partiel (pas de second ni de troisième contact) tandis que ce transit est vu complet depuis d'autres régions. Le dernier transit de ce type date du 7 décembre 1631 et le prochain est pour le 13 décembre 2611. De même, il est possible que le transit soit partiellement visible depuis certaines régions tandis qu'il ne sera pas observable depuis d'autres. La dernière occurrence d'un tel cas remonte au 19 novembre 541 av. J.-C. et la prochaine est pour le 14 décembre 2854¹. Ce transit de 2854 (le second de la paire 2846 / 2854), ne pourra pas être observé depuis le centre de la face éclairée de la Terre, il ne sera partiellement visible que depuis une partie de l'hémisphère Sud. L'occurrence *simultanée* d'un transit de Mercure et d'un transit de Vénus est possible, mais se (re)produira dans un futur très lointain : le prochain est prévu pour le 26 juillet 69 163, puis le suivant en l'an 224 508. L'occurrence simultanée d'une éclipse solaire avec un transit de Vénus est possible mais très rare, la prochaine éclipse simultanée avec un transit de Vénus est prévue le 5 avril 15 232. Le lendemain du transit du 3 juin 1769, il y a eu une éclipse totale de Soleil visible depuis le Labrador, le Groenland et le nord-est sibérien.

Transits futurs de Vénus					
Date du milieu du transit	Heure (UTC)			Notes	Tracé (HM Nautical Almanac Office)
	Début	Milieu	Fin		
11 décembre 2117	23:58	02:48	05:38	Entièrement visible depuis la Chine orientale, le Japon, Taïwan, l'Indonésie et l'Australie. Partiellement visible depuis la côte ouest des États-Unis, l'Inde, la plupart de l'Afrique et le Moyen-Orient.	[9]
8 décembre 2125	13:15	16:01	18:48	Entièrement visible depuis l'Amérique du Sud et l'Est des États-Unis. Partiellement visible depuis l'ouest des États-Unis, l'Europe et l'Afrique.	[10]

Observation



Les lunettes d'observation d'éclipses sont obligatoires pour observer les transits à l'œil nu

Le moyen d'observation le plus sûr est une observation indirecte : projeter sur une surface l'image du Soleil à l'aide d'un télescope, de jumelles ou d'un carton percé d'un trou. Mais le phénomène peut aussi être regardé directement grâce à des filtres appropriés tels qu'un filtre solaire d'astronomie revêtu d'une couche de chrome ou des lunettes d'observation d'éclipse solaire.

L'ancienne méthode consistant à utiliser un négatif photo noir & blanc exposé ou certains masques de soudeur ne sont plus considérées comme sûres : les petites imperfections ou perforations du film laissent passer les UV nocifs. De même, un négatif couleur ne contient pas d'argent et est donc transparents aux rayons infrarouges qui peuvent brûler la rétine. Regarder directement le Soleil sans protection peut provoquer une perte temporaire ou permanente des fonctions visuelles en endommageant ou détruisant les cellules rétinienne.

Il y a quatre moments clés durant un transit, quand la circonférence de Vénus est tangente à celle du disque solaire :

- 1^{er} contact : Vénus complètement hors du disque solaire et se dirigeant vers lui.
- 2^e contact : Vénus dans le disque solaire et se dirigeant vers l'intérieur.
- 3^e contact : Vénus dans le disque solaire et se dirigeant vers l'extérieur.
- 4^e contact : Vénus complètement hors du disque solaire et s'éloignant de lui.

Un cinquième point remarquable concernant les transits les plus longs est le moment où Vénus est au milieu de son chemin à travers le disque solaire, indiquant ainsi que la moitié de la durée du transit est écoulée.

On appelle « transit de Vénus » le passage de la planète Vénus entre la Terre et le Soleil, où l'ombre de Vénus apparaît devant le disque solaire. En raison de l'inclinaison de l'orbite de Vénus par rapport à celle de la Terre, ce phénomène est extrêmement rare à l'échelle de temps humaine. Il se produit deux fois à 8 ans d'intervalle, ces doubles passages étant séparés les uns des autres de plus d'un siècle (105,5 ou 121,5 ans). Historiquement, l'observation du transit de Vénus était la méthode la plus commode pour déterminer la valeur de la distance Terre-Soleil (l'unité astronomique). Le XVIII^e siècle notamment a ainsi vu de grandes expéditions de la part des astronomes européens pour mesurer les deux transits de 1761 et 1769, auxquels le nom de l'astronome français Guillaume Le Gentil est resté attaché en raison de la malchance qui l'empêcha d'effectuer les observations auxquelles il avait consacré des années de préparation. Au cours du transit de Vénus, il apparaît un effet d'optique appelé « phénomène de la goutte noire ». Lors du deuxième contact et juste avant le troisième contact, une petite larme noire semble connecter le disque de la planète avec la frontière du limbe solaire, rendant impossible de dater précisément lesdits contacts. Le dernier transit de Vénus a eu lieu le 6 juin 2012. Le prochain transit aura lieu le 11 décembre 2117.

IV Exploration de Vénus

L'exploration de Vénus à l'aide de sondes spatiales a débuté au début des années 1960. Une vingtaine d'entre elles ont depuis visité la planète, que ce soit pour de simples survols, pour des séjours plus longs en orbite autour de Vénus, ou encore pour larguer des modules d'observation dans l'atmosphère et à la surface de Vénus. L'année 1962 marque un pas important dans la connaissance de Vénus. La sonde américaine *Mariner 2* réalise cette année-là le premier survol de la planète et permet de découvrir sa température de surface, infernale, autour de 700 K, ainsi que la température de la couche nuageuse. La sonde ne détecte pas de champ magnétique au voisinage de la planète et met en évidence la quasi-absence d'eau dans l'atmosphère vénusienne. Les informations envoyées par *Mariner 2* complètent admirablement les observations radar réalisées depuis le sol terrestre la même année, notamment à l'observatoire Goldstone en Californie, qui ont permis d'estimer la période de rotation de la planète, inconnue jusqu'alors.

L'**exploration de Vénus** à l'aide de sondes spatiales démarre dès le début de l'ère spatiale. A l'époque les caractéristiques de la planète, cachée derrière un épais manteau de nuages, sont très mal connues au point que certains spéculent sur l'existence de conditions à sa surface proches de celle de la Terre. La NASA réussit un premier survol en 1962 avec la mission *Mariner 2* qui dévoile un monde particulièrement hostile : vents violents, atmosphère acide, températures et pression atmosphérique particulièrement élevées à la surface, absence de champ magnétique protecteur. L'Union Soviétique va par la suite jouer un rôle fondamental dans l'étude de Vénus en lançant un trentaine de missions dans le cadre du Programme *Venera*. Celles-ci vont progressivement dévoiler la structure de l'atmosphère et certaines caractéristiques du sol vénusien. *Venera 7* parvient pour la première fois à renvoyer des données de la surface de la planète en 1970. L'atmosphère est explorée avec des ballons et une première carte des reliefs est dressée avec un radar. Les deux sondes du programme *Vega* lancées en 1985 constituent la dernière participation de l'Union Soviétique dont le programme d'exploration du système solaire s'étiolé à cette époque. La NASA lance deux missions réussies *Pioneer Venus* (1978) et *Magellan* (1989) mais préfère par la suite se concentrer sur l'exploration de la planète Mars. Depuis seul l'agence spatiale européenne avec sa sonde spatiale *Venus Express* de type orbiteur lancée en 2006 a mené à bien une mission entièrement consacrée à la planète.

A) Premières sondes spatiales soviétiques

En 1958, peu après le lancement de *Spoutnik*, premier satellite artificiel de la Terre, l'équipe d'ingénieurs soviétiques dirigée par Serguei Korolev à l'origine de cette première, définit des plans ambitieux pour explorer le système solaire : une sonde spatiale (modèle 1M) doit être lancée dès aout 1958 vers Mars et une autre (modèle 1V) vers Vénus en juin 1959. Ces projets sont stimulés par la Course à l'espace à laquelle se livrent les États-Unis et l'Union soviétique pour des raisons plus idéologiques que scientifiques. Toutefois les difficultés rencontrées par le programme *Luna* conduisent à repousser ce calendrier. La première sonde vénusienne est reprogrammée pour 1961 tandis qu'un nouveau lanceur, qui sera baptisé plus tard *Molnia*, est mis au point pour placer en orbite les sondes interplanétaires. Il comporte deux étages supérieurs dont le dernier est chargé d'injecter les sondes sur leur trajectoire interplanétaire. La première sonde spatiale vénusienne soviétique, baptisée 1VA a une masse de 643,5 kg et est dérivée de l'engin soviétique lancé vers Mars la même année. La charge utile scientifique est constituée d'un magnétomètre triaxial, deux variomètres magnétiques, des pièges à ions pour analyser la composition du vent solaire, de détecteurs de micrométéorites et de rayons cosmiques. La sonde est stabilisée trois axes. La sonde dispose de 4 panneaux solaires d'environ 1 m². Le déplacement de Vénus est à l'époque mal connu : les éphémérides disponibles ne permettent de prévoir à l'avance la position de la planète qu'avec une précision de 100 000 km. Aussi les concepteurs de la première mission vénusienne choisissent de tenter un simple survol. La sonde spatiale emporte une petite sphère capable de flotter au cas où la sonde parviendrait jusqu'au sol : à l'époque la présence d'étendues d'eau à la surface n'est pas exclue. Le lancement a lieu le 15 janvier 1961 mais la fusée est victime de la défaillance d'un de ses étages supérieurs. La deuxième tentative de lancement effectuée le 12 février est un succès. La nature de

la mission de la sonde baptisée pour l'occasion Venera est révélée au public alors que celle-ci entame son voyage vers Vénus. Le réseau d'antennes mis en place par les soviétiques pour communiquer avec leurs sondes interplanétaires parvient à contacter la sonde à plusieurs reprises mais les problèmes se multiplient. Après un dernier échange alors que la sonde se trouve à 1,7 millions de km, toutes les tentatives de reprises de contact échouent.

B) Mariner 2 : premier survol réussi (1962)

Le 14 décembre 1962 la sonde spatiale américaine Mariner 2 met fin au mythe d'une Vénus planète jumelle de la Terre en réussissant à faire fonctionner ses instruments lors de son survol de la planète. La température au sol est estimée à 425 °C, l'épaisse atmosphère vénusienne composée essentiellement de dioxyde de carbone et dépourvue de vapeur d'eau se caractérise par une pression atmosphérique au sol écrasante (estimée à l'époque à 20 fois celle à la surface de la Terre). Enfin Vénus est pratiquement dépourvue de champ magnétique et n'est donc pas protégée des rayons cosmiques et du vent solaire.

C) Les années 1960-70 : étude de l'atmosphère et tentatives d'atterrissage

En 1967, les missions soviétiques *Venera 4* et américaine *Mariner 5* continuent l'exploration de la planète, fournissant des données précises sur la composition atmosphérique et la pression élevée à la surface de Vénus. La capsule larguée par *Venera 4* est le premier engin à pénétrer dans l'atmosphère vénusienne et à retourner des informations sur celle-ci. La sonde spatiale transmet des données sur la composition de l'atmosphère vénusienne jusqu'à une altitude de 24 km avant de cesser d'émettre écrasée par la pression atmosphérique. Les données recueillies par la sonde permettent d'établir que l'atmosphère de Vénus est composée à 95% de dioxyde de carbone. Combinées avec les données recueillies par *Mariner 5* les scientifiques réévaluent la pression au sol qui est désormais évaluée à 75-100 fois celle de l'atmosphère terrestre. *Venera 5* et *Venera 6* permettent de préciser ces résultats. Dans les années 1970, plusieurs sondes du programme Venera parviennent à atteindre la surface et les capsules transmettent des données à la Terre depuis le sol de Vénus. En mars 1982, les premières photos couleur de la surface sont réalisées par *Venera 13* et *Venera 14* à quelques jours d'intervalle. Dans les années 1970, plusieurs sondes du programme Venera parviennent à atteindre la surface et les capsules transmettent des données à la Terre depuis le sol de Vénus. En orbite pendant 4 ans autour de Vénus, entre 1990 et 1994, la sonde *Magellan* réalise une cartographie complète et très précise (avec une résolution horizontale inférieure à 100 m) de la surface de la planète. La sonde spatiale a utilisé pour cela un radar, seul instrument capable de percer l'épaisse atmosphère de Vénus. Un relevé altimétrique est également effectué. Cette cartographie détaillée révèle d'une part un sol remarquablement jeune géologiquement parlant (de l'ordre de 500 millions d'années), d'autre part l'absence de tectonique des plaques et enfin la présence de milliers de volcans.



L'atterrisseur de Venera 9



Pioneer Venus2 avec ses atterrisseurs

D) Venus Express (2006)

La NASA se désintéresse de Vénus et concentre ses missions sur Mars. Près de 20 ans s'écoulent après sonde *Magellan* sans qu'aucune nouvelle mission ne soit lancée vers la planète. *Venus Express* est la première mission de l'Agence spatiale européenne ayant pour objectif l'étude de Vénus. La réutilisation de la plateforme mise au point pour *Mars Express* et d'instruments existants a permis de construire très rapidement la sonde spatiale à un coût modéré. Lancée en novembre 2005 *Venus Express* se place en avril 2006 sur une orbite très allongée de 24 heures autour de la planète. Elle collecte des données détaillées sur la structure de la planète, sa chimie et la dynamique de son atmosphère. Elle utilise à cet effet une combinaison d'instruments scientifiques comprenant un spectromètre, un spectro-imageur et une caméra fonctionnant dans des longueurs d'ondes allant de l'ultraviolet à l'infrarouge thermique ainsi qu'un analyseur de plasma et un magnétomètre. La mission d'une durée initiale de 500 jours a été prolongée à quatre reprises. Les instruments de la sonde spatiale ont fourni de nombreux résultats scientifiques.

E) Akatsuki (2010)

La sonde spatiale japonaise Akatsuki est un orbiteur dont l'objectif était d'étudier le climat de la planète Vénus. Elle est lancée le 20 mai 2010 par une fusée H-IIA. Le 7 décembre 2010 sa manœuvre d'insertion en orbite autour de Vénus échoue à la suite d'une défaillance de sa propulsion. La sonde poursuit depuis sa trajectoire sur une orbite héliocentrique. Bien que la sonde soit privée de sa propulsion principale, la JAXA envisage d'effectuer une nouvelle tentative d'insertion lorsque la sonde survolera Vénus en novembre 2015 ou en 2016.



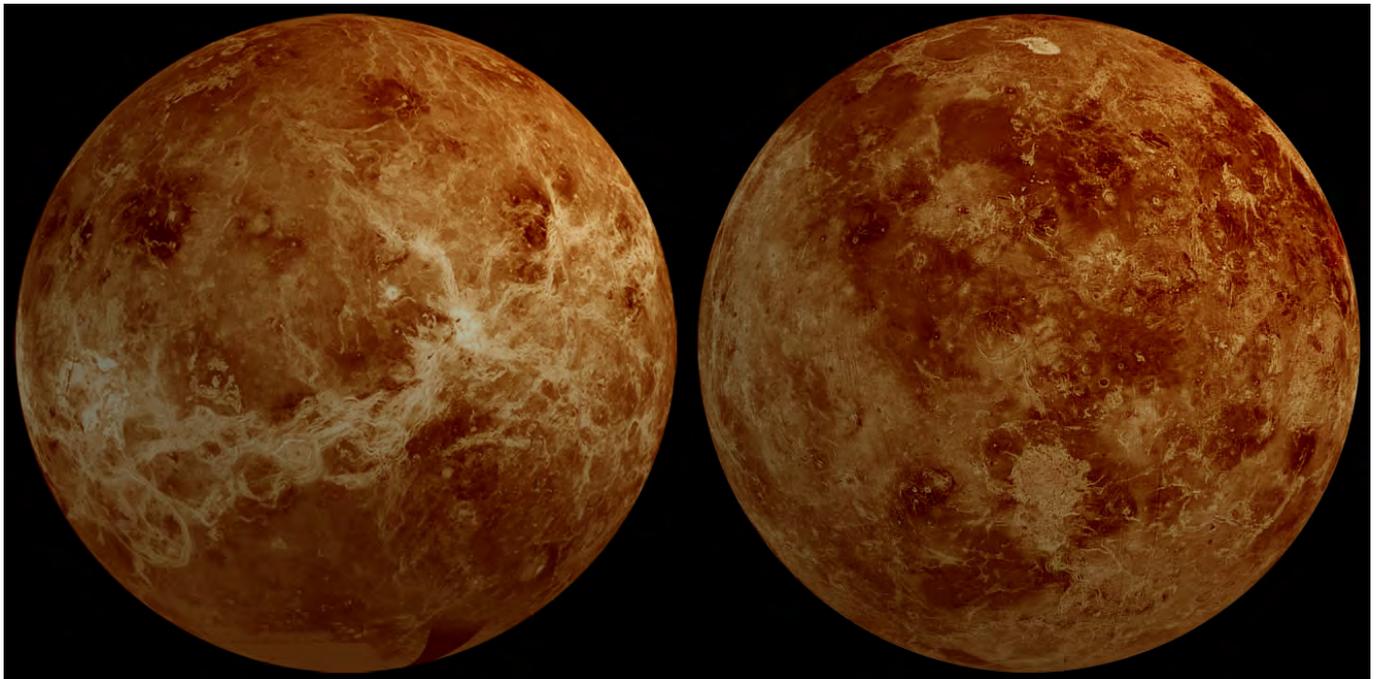
Image radar de Fotla Corona, une corona de 200 km de diamètre à la surface de Vénus. Sonde Magellan (1994)

V ICONOGRAPHIE

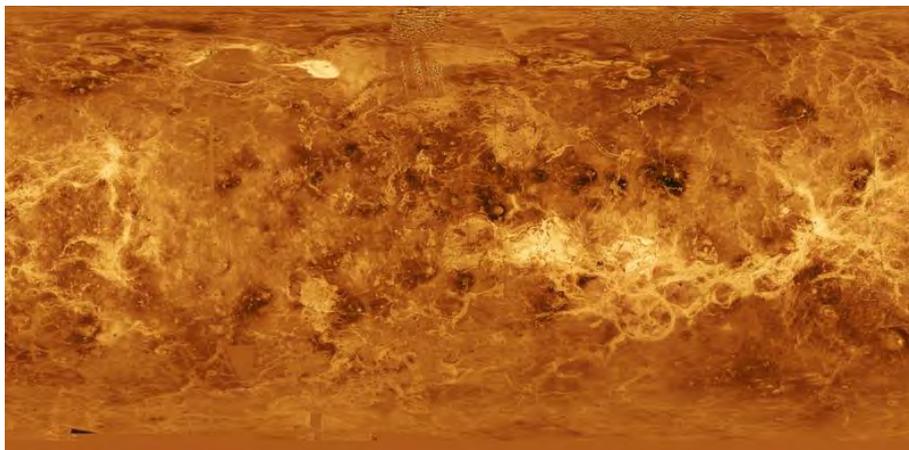
A) Vénus



La sonde Venus Express a découvert au pôle Sud un double vortex « à deux yeux » qui adopte des formes très variées à mesure que l'on s'enfonce profondément dans son atmosphère. Mais la cause de ce vortex et ses formes très variées sont pour l'instant inconnues. Au pôle Nord de Vénus ceci avait été déjà observé depuis vingt-cinq ans.

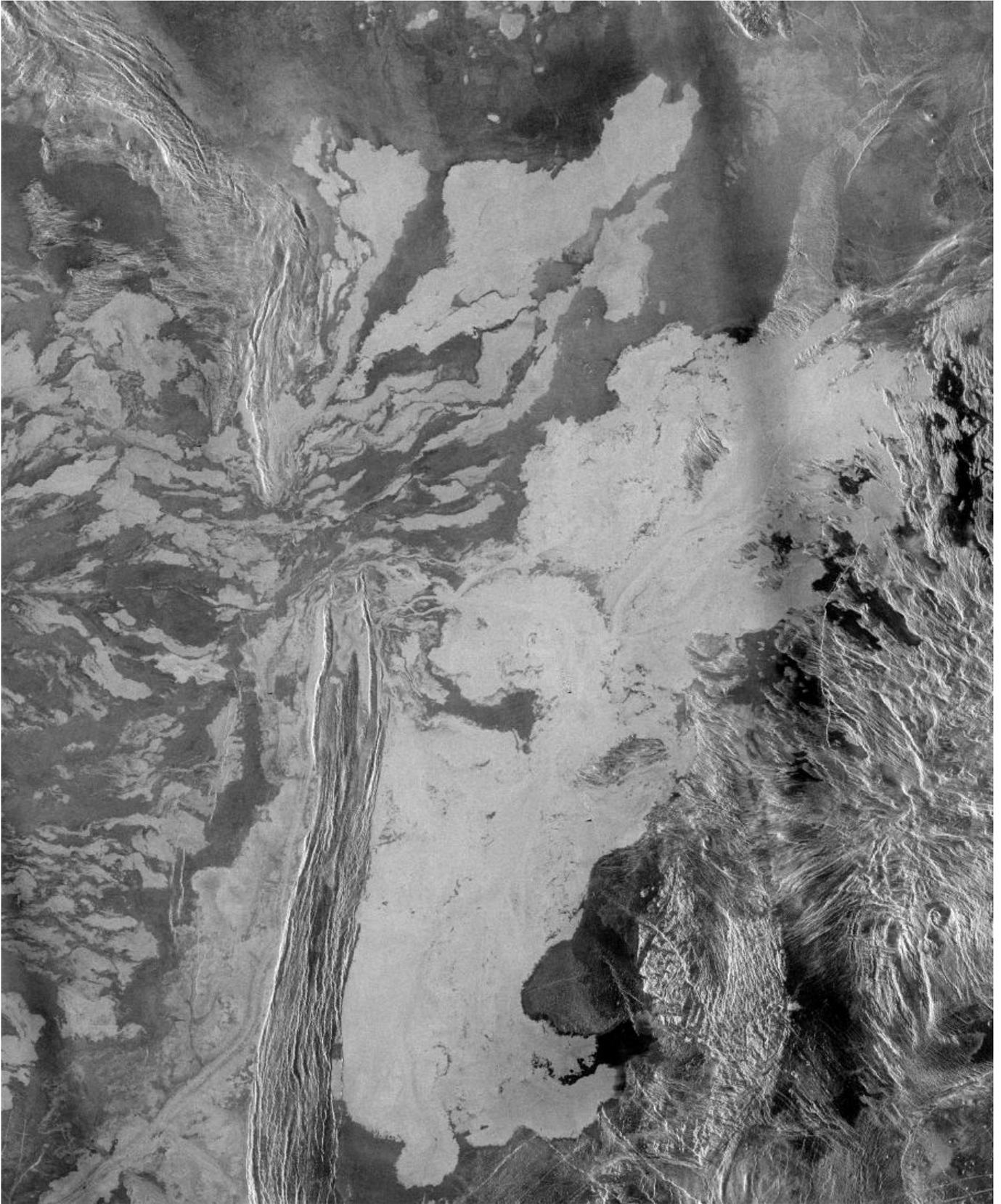


En haut : Les deux hémisphères de Vénus au radar – En bas : la même image, façon planisphère

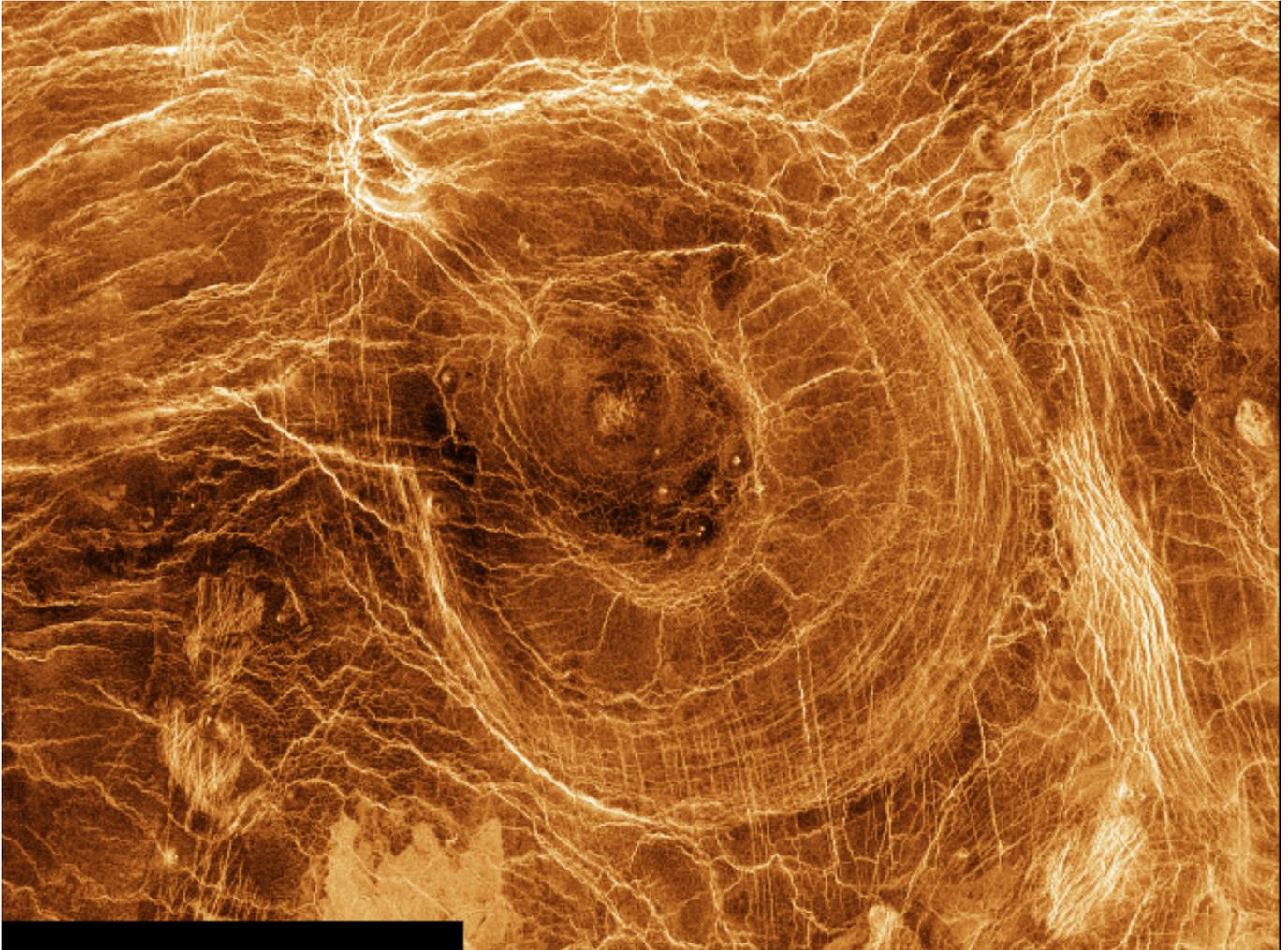




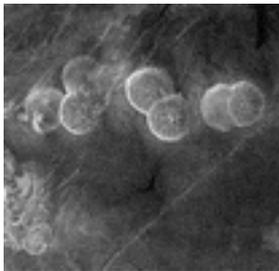
Le cratère Dickinson



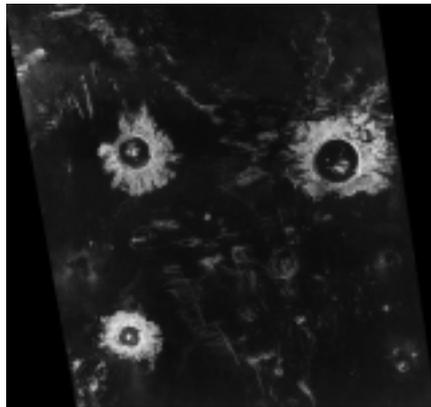
Des « rios » de lave sur Vénus



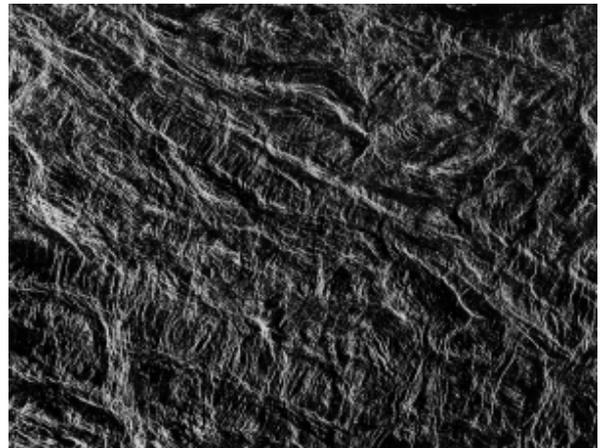
Les fameux arachnoïdes dont l'origine reste incertaine



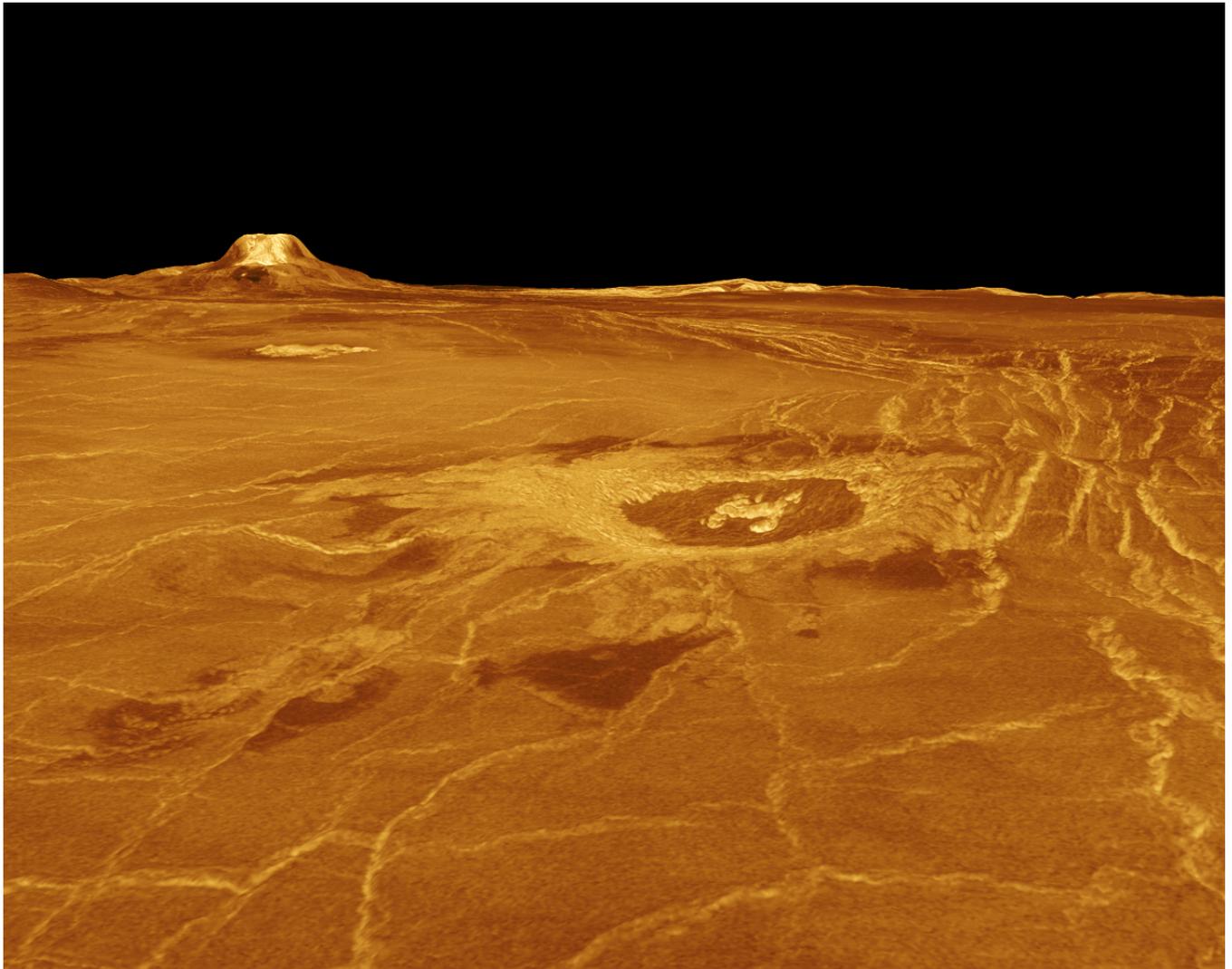
« Pancakes »



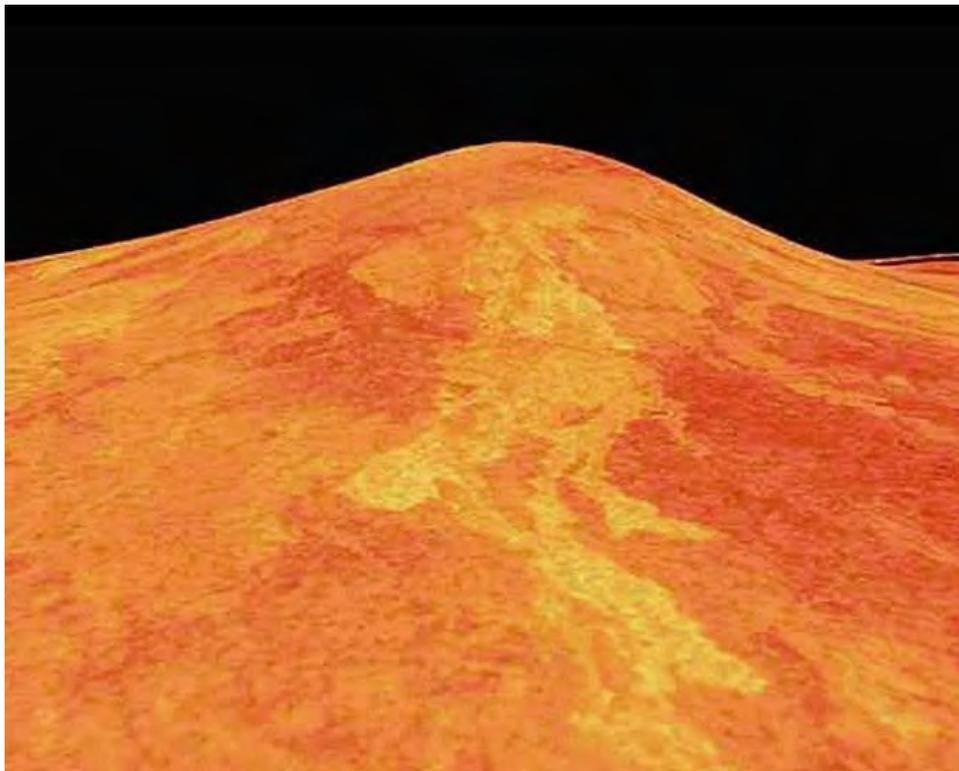
Cratères



Lavinia planitia

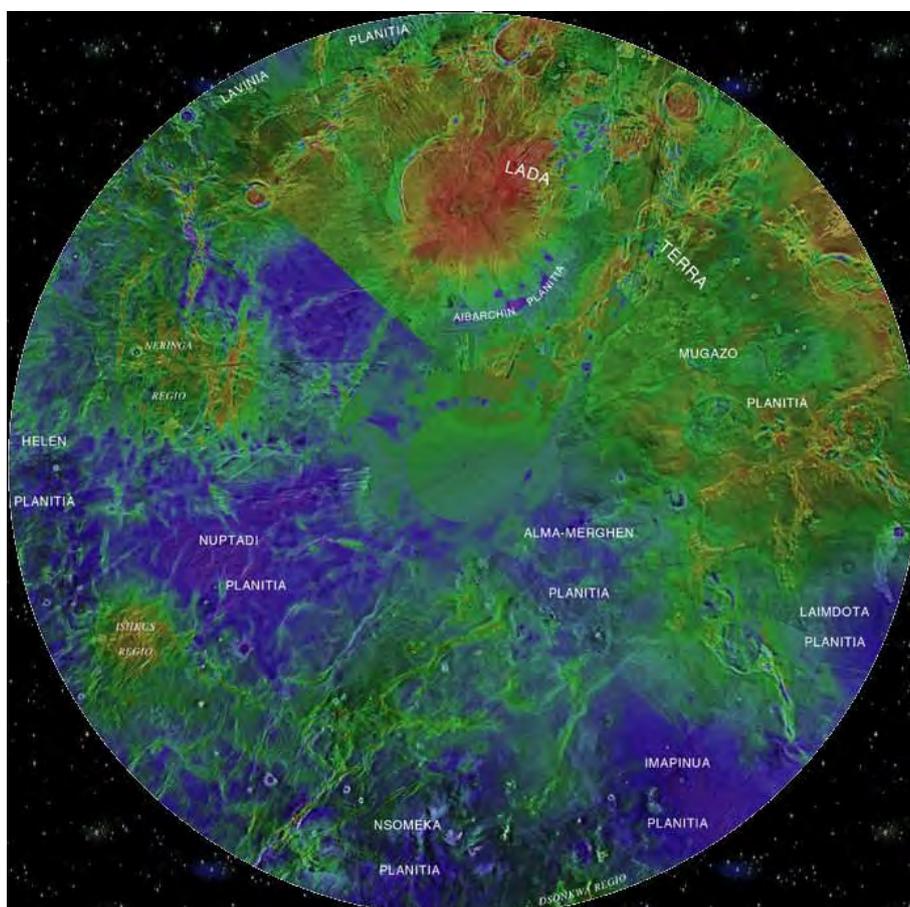
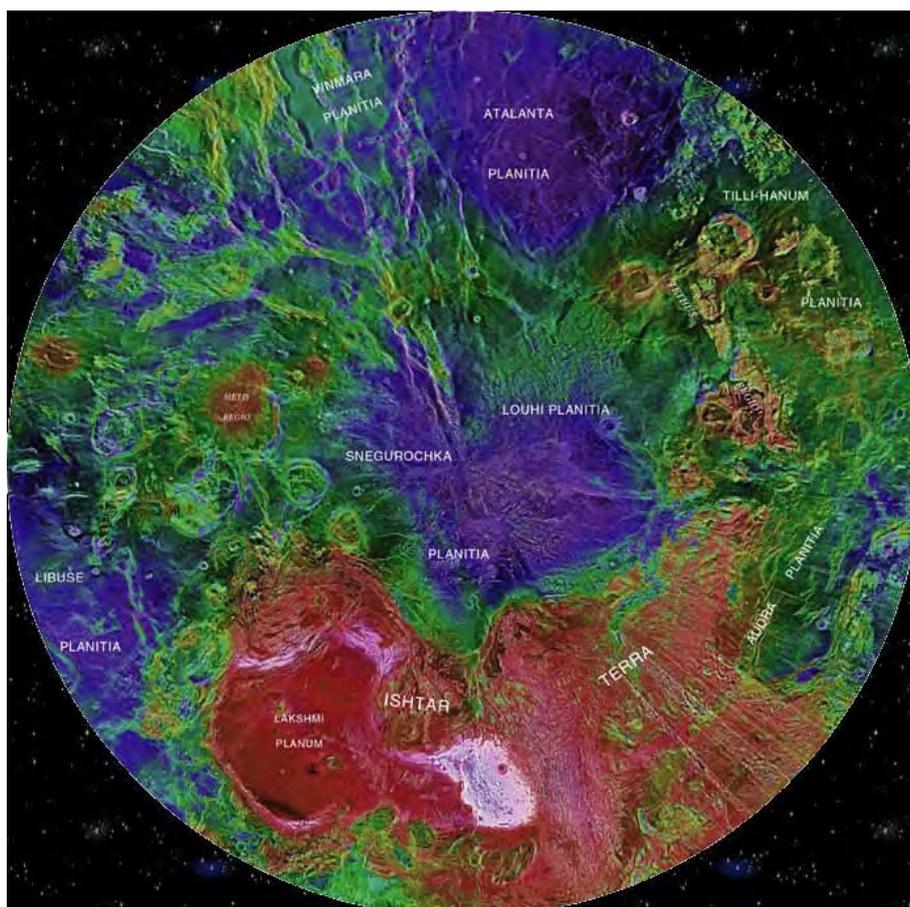


Le cratère du Gula Mons



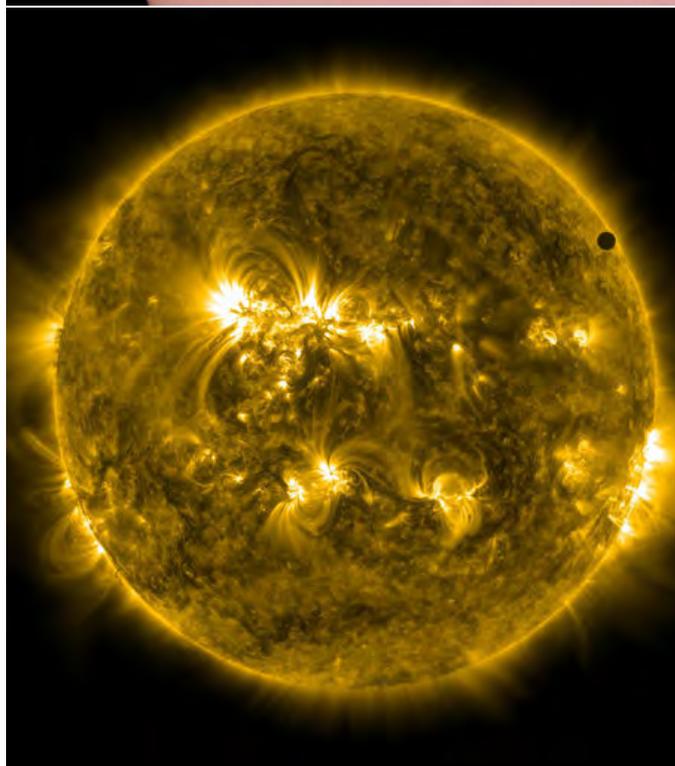
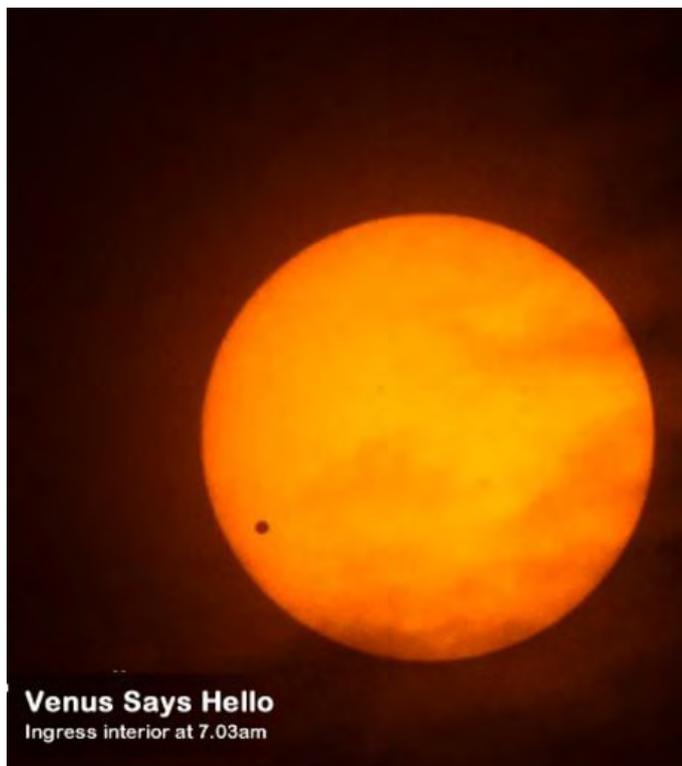
Le Sif Mons

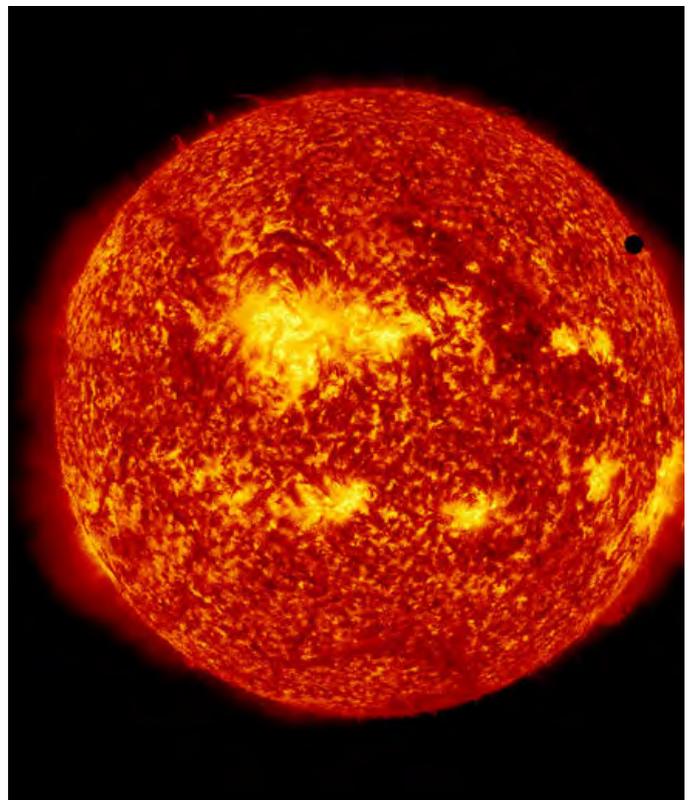
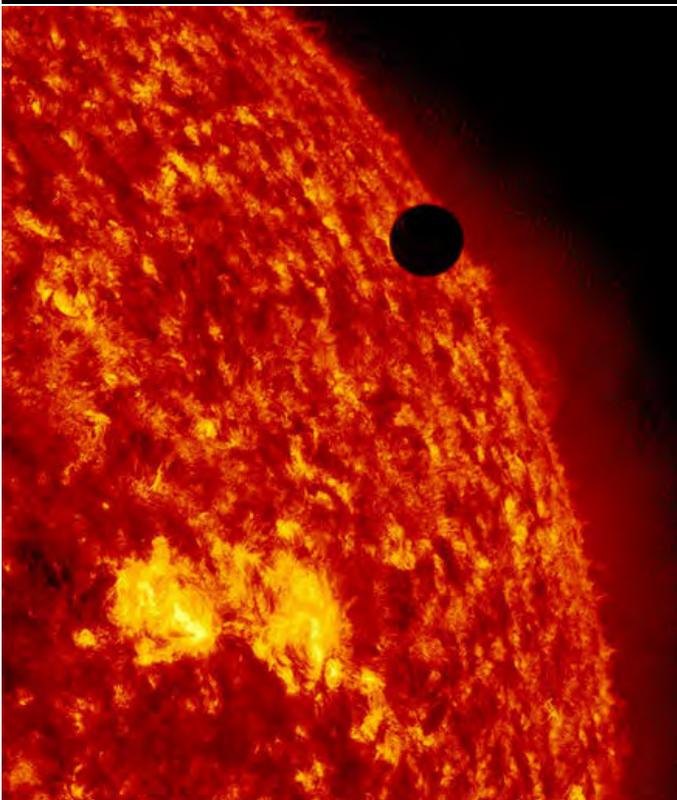
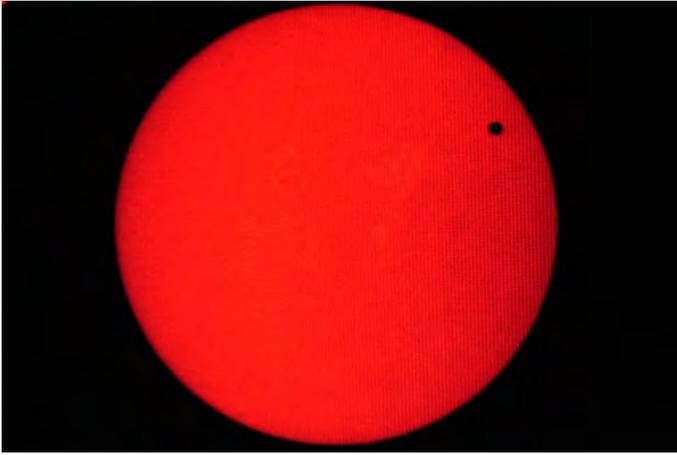
B) Cartographie de Vénus

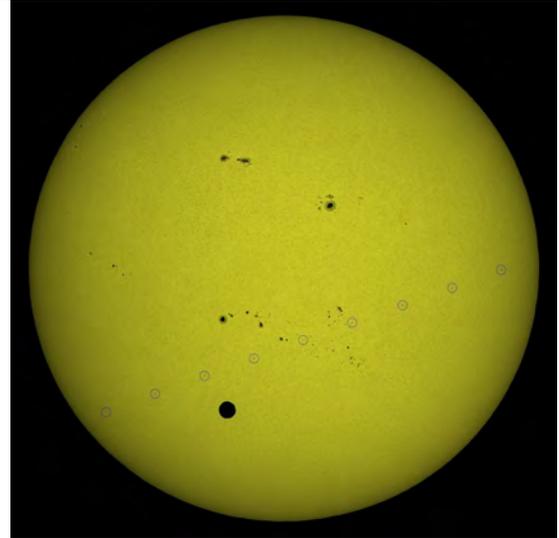
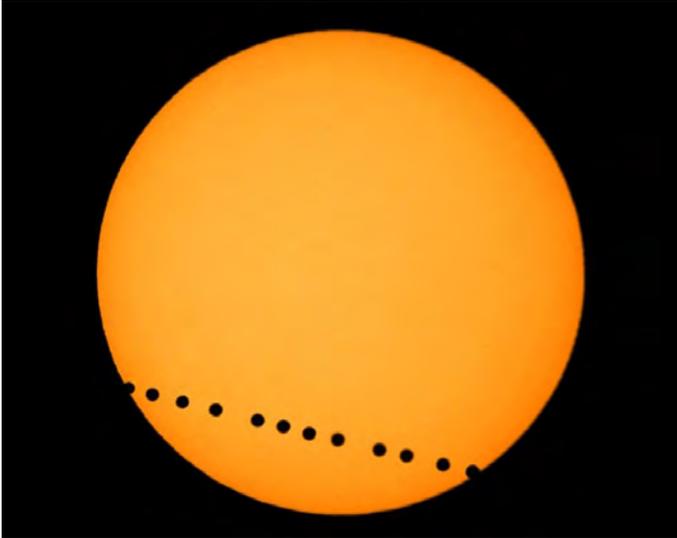
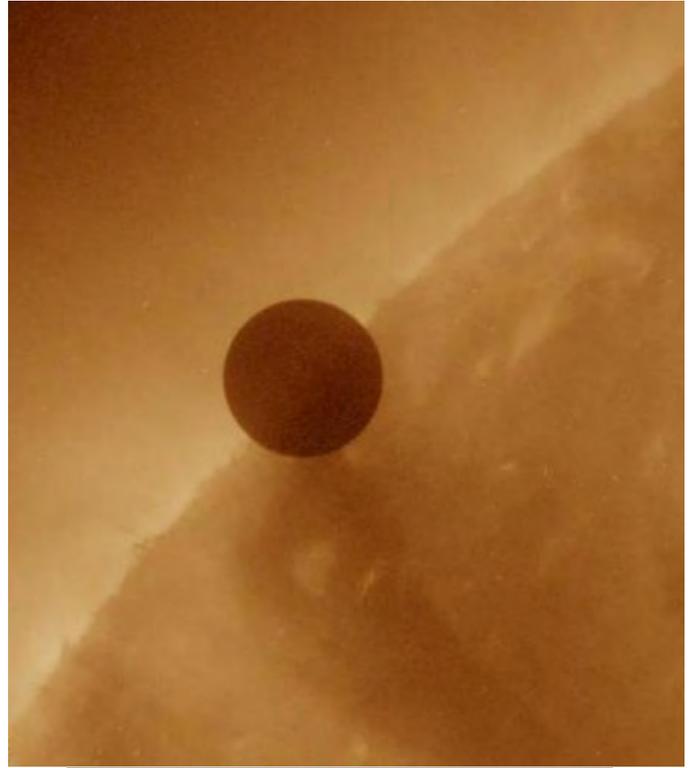


Cartographie de Vénus

C) Les transits de Vénus en 2004 et 2012







Montage de plusieurs photos tout au long du transit

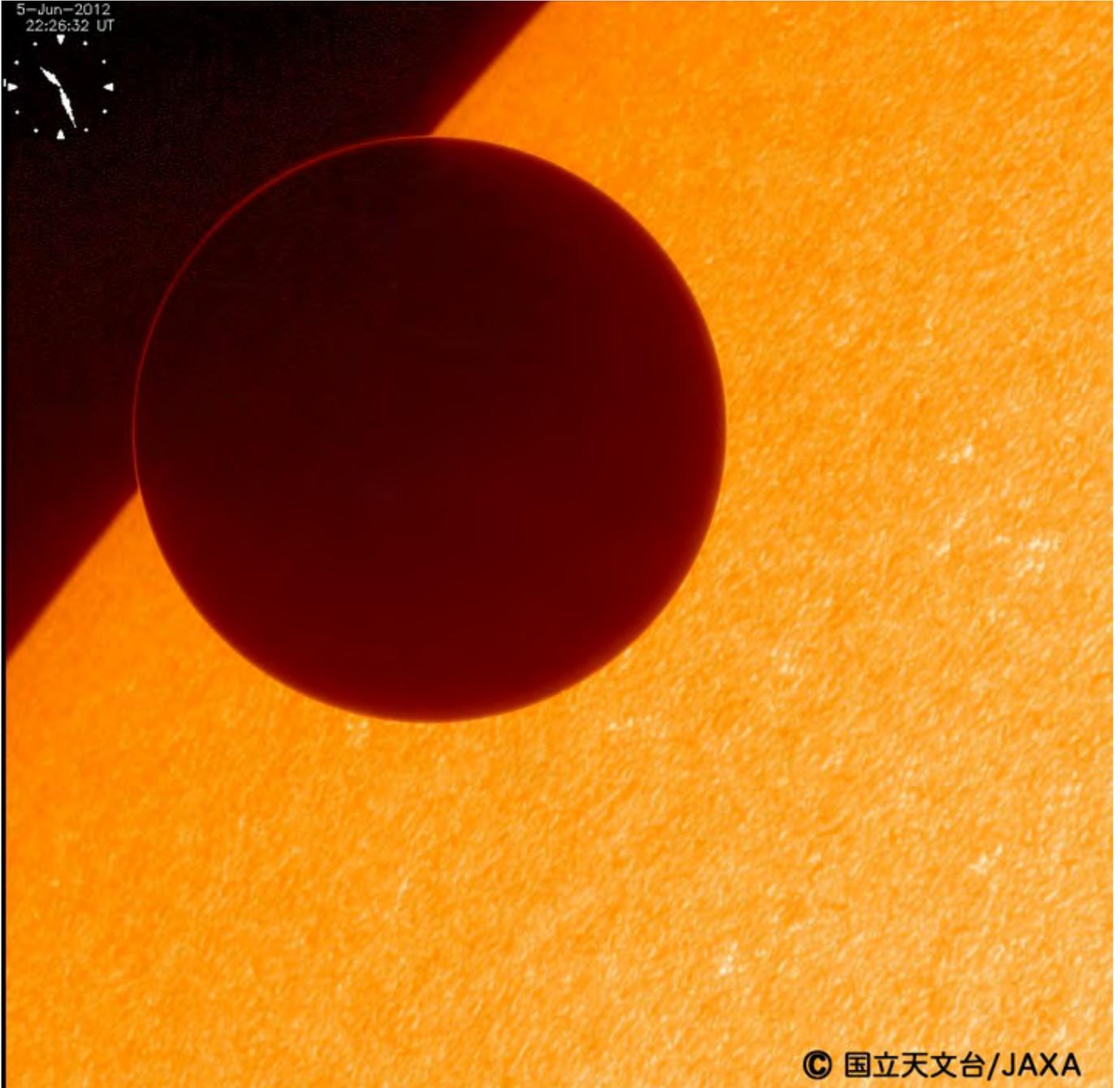
Vénus, ainsi que Hubble passent devant le soleil



Un avion passe aussi devant le soleil ↑

Transit + mirage solaire connu sous le nom de vase étrusque. →

5-Jun-2012
22:26:32 UT

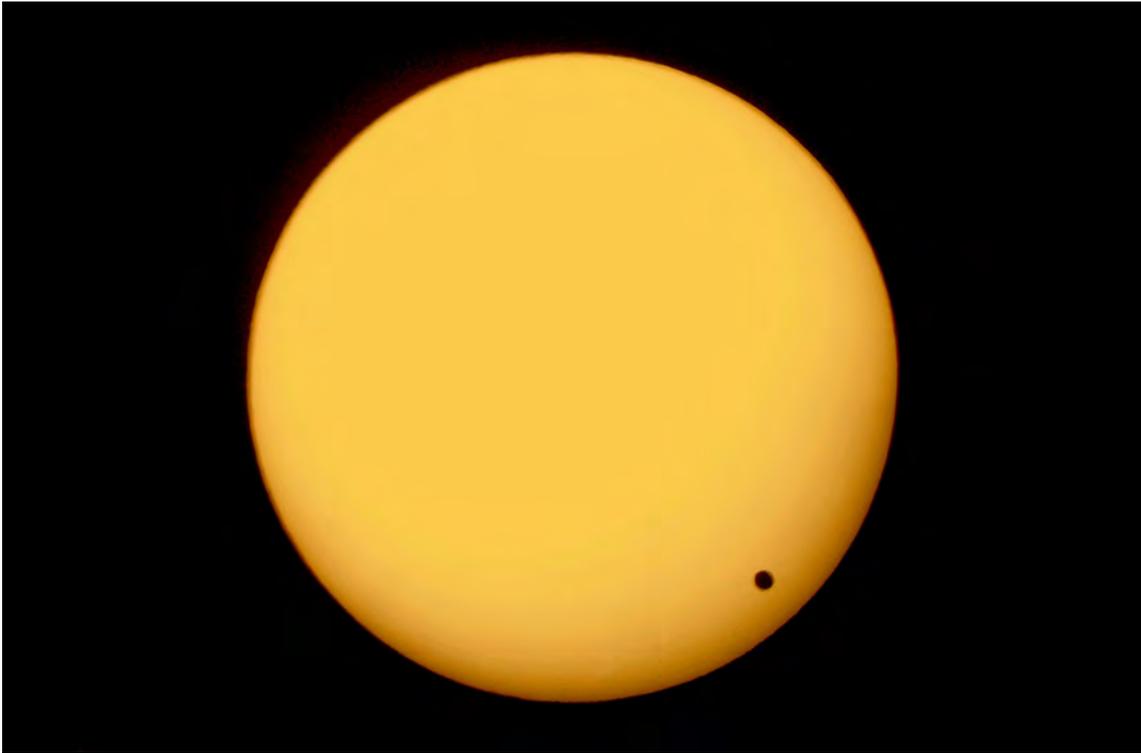


La fine atmosphère de Vénus, visible en contre-jour sur le soleil

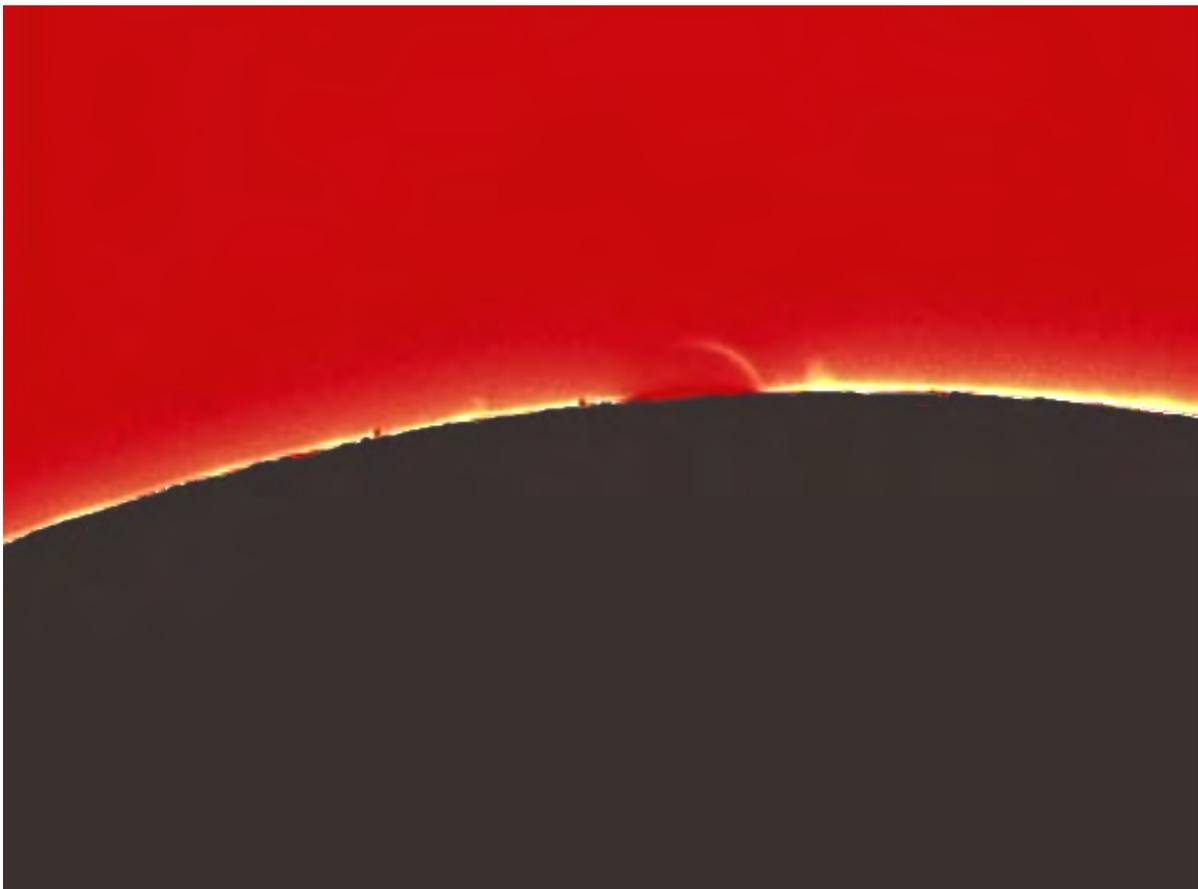


En Roumanie, un pêcheur et un oiseau assistent au transit de Vénus

Photos du transit de Vénus de 2004 prises par les membres du GAP 47



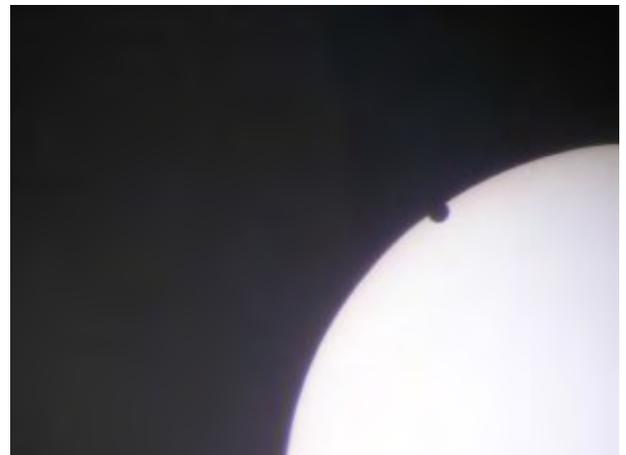
Transit de Vénus – Photos GAP 47



En gris sombre on voit le cache du coronographe, le fond rouge est l'atmosphère du Soleil et la fine ligne jaune est la chromosphère avec une minuscule protubérance au sommet du Soleil. A gauche de la protubérance, Vénus sous forme d'une demi-sphère rouge alors qu'elle quitte le disque du Soleil. La petite virgule claire, sur la droite de Vénus, est son atmosphère. Les irrégularités en gris sombre qui se détachent sur la chromosphère sont des imperfections du cache du coronographe.

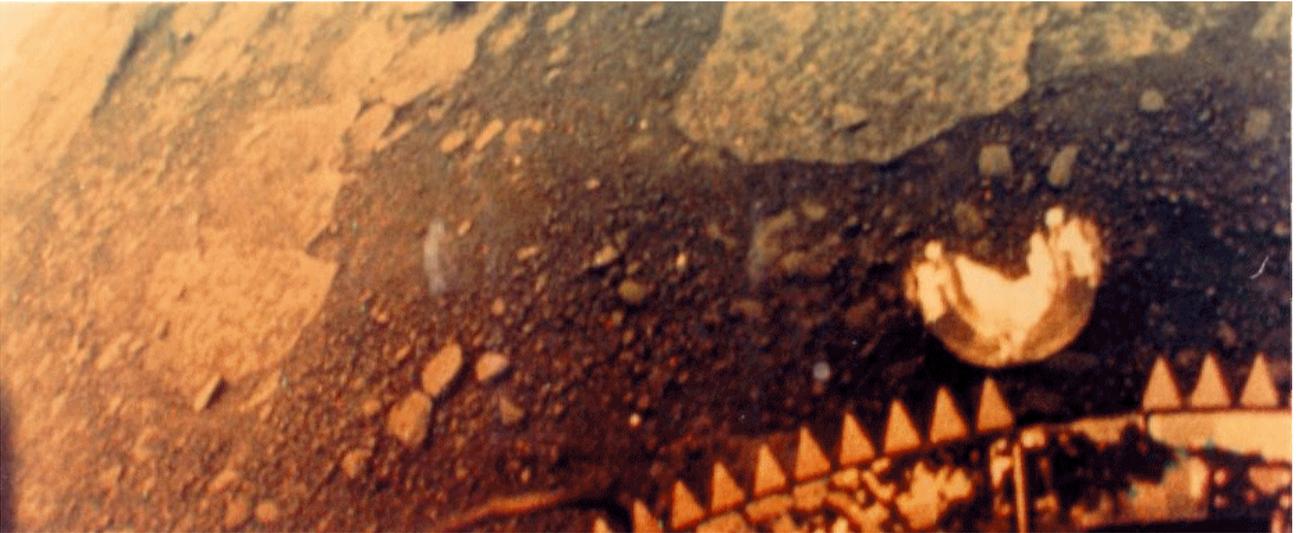


Transit de Vénus – Photos GAP 47

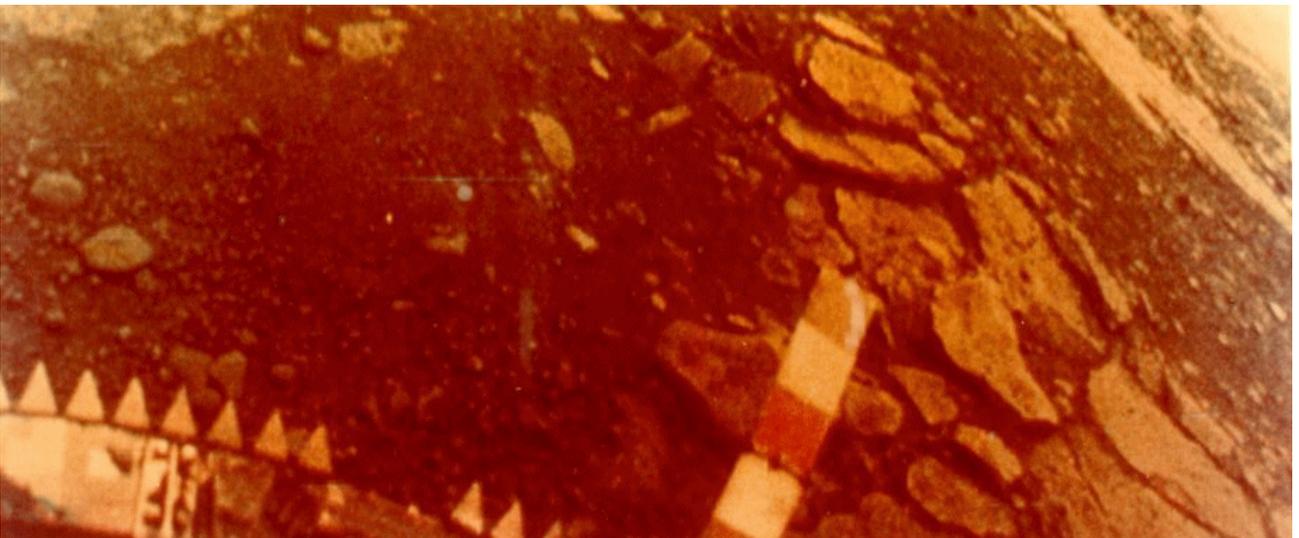


D) Les photos des atterrisseurs Venera

Photos par les sondes Venera 9, Venera 10 et Venera 13 (en couleurs)



2 photos couleurs de Venera 13. On voit les pieds de l'atterrisseur en bas des photos



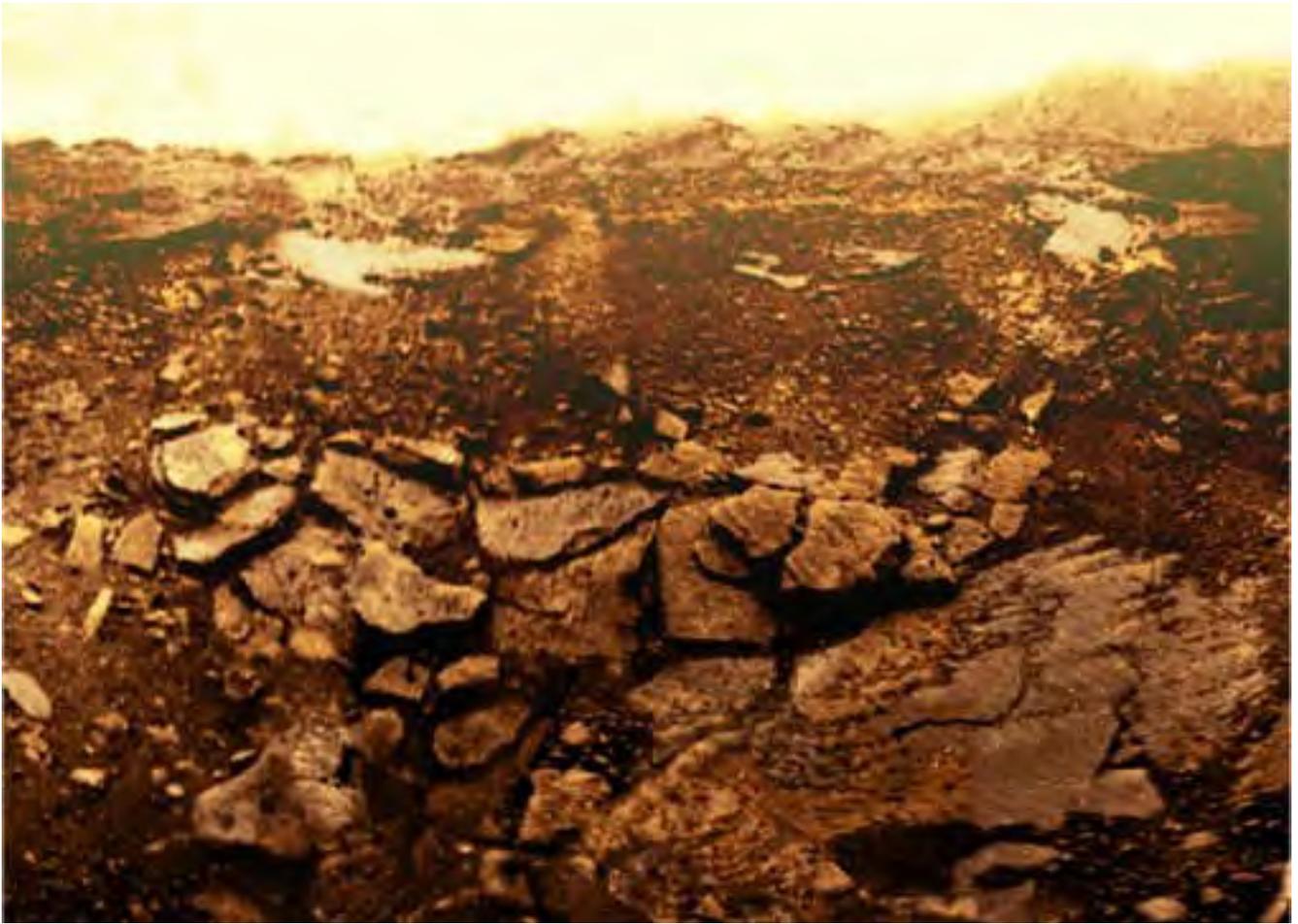
Photos de Venera 9



Photos du sol de Vénus par Venera 10

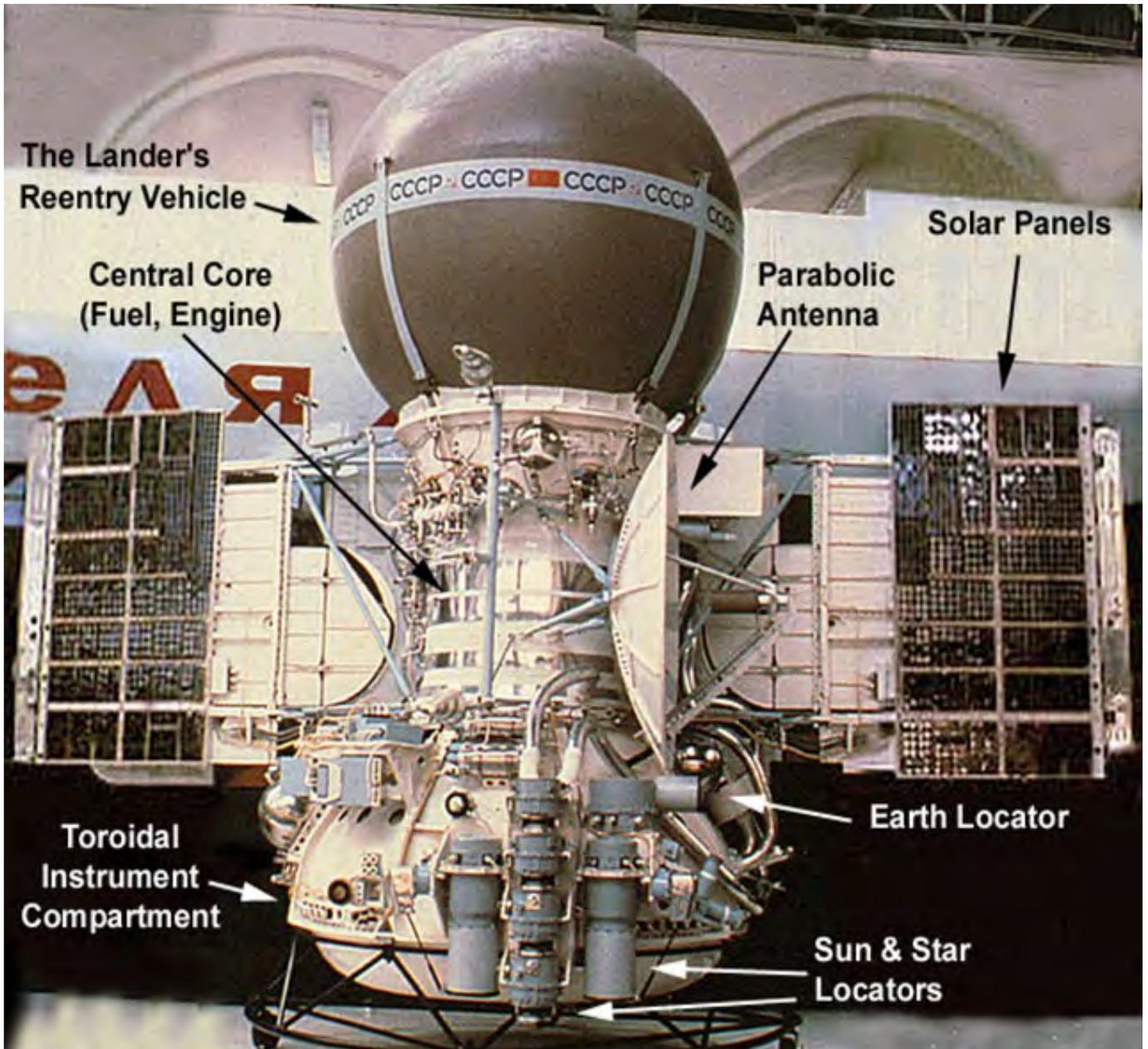


Photos du sol de Vénus par Venera 13



2 photos du sol vénusien par Venera 13





La sonde Venera 13

Table des Matières

I Introduction – Généralités	1
II Caractéristiques : Atmosphère, surface, rotation	5
A) Structure et composition de l’atmosphère	6
B) La troposphère	7
C) Circulation de l’atmosphère.....	9
D) La magnétosphère	11
E) Conditions atmosphériques et climatiques	12
F) Surface de Vénus - Géologie	18
G) Rotation de Vénus	21
III Les transits de Vénus	24
IV Exploration de Vénus	31
A) Premières sondes spatiales soviétiques.....	31
B) Mariner 2	32
C) Les années 1960-70	32
D) Venus Express	33
E) Akatsuki	33
V Iconographie	34
A) Vénus	34
B) Cartographie de Vénus.....	39
C) Les transits de Vénus	40
D) Les sondes Venera	47
Table des matières	51
Annexe : Liste des missions vénusiennes.....	I à II

Sonde	Agence	Date	Type	Statut	Notes
Spoutnik 7	URSS	04-févr-61	Atterrisseur	Échec	Échoue à quitter l'orbite terrestre
Venera 1	URSS	19 mai 1961 – 20-mai-61	Survol	Échec	Contact perdu 7 jours après le lancement. Première tentative de survol d'une planète
Mariner 1	NASA	22-juil-62	Survol	Échec	Échec de l'orientation peu après le lancement
Spoutnik 19	URSS	25-août-62	Atterrisseur	Échec	Échoue à quitter l'orbite terrestre
Spoutnik 20	URSS	1 ^{er} septembre 1962	Atterrisseur	Échec	Échoue à quitter l'orbite terrestre
Spoutnik 21	URSS	12-sept-62	Survol	Échec	Explosion du 3 ^e étage de la fusée
Mariner 2	NASA	14-déc-62	Survol	Succès	Premier survol de Vénus. Distance minimum 34 773 km
Cosmos 21†	URSS	11-nov-63	Survol?	Échec	Échoue à quitter l'orbite terrestre
Venera 1964A†	URSS	19-févr-64	Survol	Échec	Échoue à atteindre l'orbite terrestre
Venera 1964B†	URSS	1 ^{er} mars 1964	Survol	Échec	Échoue à atteindre l'orbite terrestre
Cosmos 27	URSS	27-mars-64	Survol	Échec	Échoue à quitter l'orbite terrestre
Zond 1	URSS	1964	Survol et atterrisseur possible	Échec	Contact perdu en route
Cosmos 96	URSS	23-nov-65	Atterrisseur	Échec	Explosion?
Venera 1965A†	URSS	26-nov-65	Survol	Échec	Échec du lanceur?
Venera 2	URSS	27-févr-66	Survol	Échec	Cesse de fonctionner en cours de route
Venera 3	URSS	1 ^{er} mars 1966	Atterrisseur	Échec	Contact perdu avant son arrivée
Cosmos 167	URSS	17-juin-67	Atterrisseur	Échec	Échoue à quitter l'orbite terrestre
Venera 4	URSS	18-oct-67	Sonde atmosphérique	Succès	Transmission jusqu'à 25 km d'altitude
Mariner 5	NASA	19-oct-67	Survol	Succès	Distance minimum 5 000 km
Venera 5	URSS	16-mai-69	Sonde atmosphérique	Succès	
Venera 6	URSS	17-mai-69	Sonde atmosphérique	Succès	
Cosmos 359	URSS	22-août-70	Atterrisseur?	Échec	Échoue à quitter l'orbite terrestre
Venera 7	URSS	15-déc-70	Atterrisseur	Succès	Premier atterrissage réussi sur une planète. Signaux émis de la surface pendant 23 minutes
Cosmos 482	URSS	31-mars-72	Atterrisseur?	Échec	Échoue à quitter l'orbite terrestre
Venera 8	URSS	22-juil-72	Atterrisseur	Succès	Signaux émis de la surface pendant 50 minutes
Mariner 10	NASA	05-févr-74	Survol	Succès	Distance minimum 5 768 km. En route vers Mercure, première manœuvre d'assistance gravitationnelle d'une sonde spatiale
Venera 9	URSS	1975	Orbiteur	Succès	
		22-oct-75	Atterrisseur	Succès	Premières images de la surface
Venera 10	URSS	1975	Orbiteur	Succès	
		23-oct-75	Atterrisseur	Succès	
Pioneer Venus Orbiter	NASA	4 décembre 1978 – 1992	Orbiteur	Succès	
Pioneer Venus Multiprobe	NASA	09-déc-78			
Bus			Transporteur de sondes	Succès	
Large Probe			Sonde atmosphérique	Succès	
North Probe			Sonde atmosphérique	Succès	

