

A leur grande surprise, les expérimentateurs ont découvert une lumière sur la face nocturne de la planète.

La face cachée de Vénus

La mission de la NASA Pioneer Venus, moins spectaculaire peut-être que les « voyageurs » constitue le projet spatial le plus ambitieux jamais consacré à l'étude de Vénus. Elle concrétise l'intérêt des scientifiques américains, qui avaient jusqu'à présent quelque peu délaissé cette planète, et l'on peut d'ores et déjà la considérer comme une des grandes réussites de la jeune histoire de l'exploration planétaire.

La mission se composait, en fait, de deux parties distinctes: un groupe de quatre sondes destinées à descendre jusqu'à la surface de la planète et un satellite en orbite excentrique autour de celle-ci. Les sondes atteignirent Vénus le 9 décembre 1978 au terme d'une randonnée de 123 jours et effectuèrent diverses mesures en quatre points différents au cours de leur descente. Après un voyage de 198 jours, le satellite quant à lui s'inséra comme prévu le 4 décembre 1978 sur une orbite qui lui permet de « frôler » la planète à une altitude de 150 km chaque 24 heures (*la Recherche*, 95, 1118, décembre 1978).

L'orbiteur emmenait à son bord douze expériences différentes destinées à étudier divers aspects de l'environnement vénusien. Il est toujours en fonctionnement aujourd'hui et a fourni une extraordinaire moisson de résultats scientifiques nouveaux depuis la cartographie de la planète jusqu'à l'interaction avec le vent solaire.⁽¹⁾ Certaines mesures ont confirmé et précisé des observations antérieures ou des théories jusqu'ici spéculatives. C'est le cas, par exemple, des mesures topographiques effectuées à l'aide du radar altimètre à bord de l'orbiteur qui ont confirmé les résultats obtenus précédemment à partir de la Terre à l'aide de radars géants. Toutefois, la couverture géographique de la sphère vénusienne a été fortement étendue et l'échelle des altitudes a pu être précisée. C'est le cas également pour la composition des nuages qui entourent en permanence la planète. Les mesures transmises par les instruments pendant leur traversée des

nuages ont confirmé que le sommet de ceux-ci est en partie constitué de minuscules gouttelettes d'acide sulfurique concentré. Cependant, en combinant ces nouvelles observations avec celles obtenues précédemment, à partir du sol, de Mariner 10 et des sondes soviétiques, il apparaît que les nuages se répartissent en quatre couches présentant chacune une structure complexe où l'on retrouve divers composés sulfurés.

En revanche, d'autres résultats inattendus ont remis en cause certaines théories sur l'origine et la formation du système solaire et ont soulevé de nouvelles questions. Ainsi, les analyses de composition chimique effectuées par le chromatographe et le spectromètre de masse ont-elles révélé une abondance inattendue de certains isotopes d'éléments volatils. C'est le cas, par exemple, de l'argon-36 dont l'origine remonte à l'époque de la formation du système solaire et dont la quantité relative est beaucoup plus élevée que sur la Terre ou sur Mars. Comme aucun processus naturel ne peut expliquer cette anomalie dans le cadre des théories classiques de l'origine du système solaire, de nouveaux concepts ont été proposés pour tenter d'expliquer ces résultats (ils feront prochainement l'objet d'un important article dans *la Recherche*).

La face nocturne de la planète, dont on savait peu de choses, s'est également révélée riche en surprises. Alors que la température reste uniforme au-dessous des nuages en raison de l'effet de serre, une diminution brutale de plus de 100 °C de celle-ci est observée à l'aide du spectromètre de masse lorsque l'orbiteur passe du jour à la nuit. Cette variation subite est en contradiction avec les modèles théoriques qui prévoient une diminution progressive de midi à minuit. Par ailleurs, des lueurs ultraviolettes ont été détectées sur la face nocturne. Elles impliquent le transport en quelques jours vers cette face d'atomes créés sur la face diurne. Avec les observations toutes récentes, c'est à la dynamique atmosphérique globale de Vénus que nous avons désormais accès.

Des lueurs inattendues.

C'est le spectromètre ultraviolet de l'université de Colorado (OUVS) qui a permis la détection inattendue de lueurs ultraviolettes atmosphériques ou « air-glow » sur la face nocturne de la planète. Cette émission lumineuse fut, en fait, découverte accidentellement lorsque l'instrument observait dans l'ultraviolet la lumière réfléchie par la couche de nuages. A la surprise des expérimentateurs, au-delà du terminateur, ligne fictive de séparation entre le jour et la nuit, là où aucune

lumière n'était attendue, le bord de la planète restait clairement visible, indiquant la présence d'une couche lumineuse atmosphérique vue tangentielle-ment.⁽²⁾ Une série d'observations spectrométriques de la face nocturne fut immédiatement entreprise en vue d'identifier la longueur d'onde et la nature des émissions observées. Elle révéla que les émissions UV pouvaient être attribuées entièrement à la molécule d'oxyde d'azote. En outre, la distribution d'intensité indiquait sans ambiguïté que l'émission de lumière résultait de la recombinaison d'un atome d'oxygène avec un atome d'azote, phénomène qui s'accompagne de l'émission d'un photon ultraviolet.

Une fois la source et la distribution spectrale de la radiation identifiées, des télécommandes furent envoyées chaque jour à la sonde afin d'obtenir une série d'images de la planète dans la longueur d'onde d'une des bandes précédemment observées. D'emblée, les premières images ont montré que la couche atmosphérique émettrice, loin d'être uniforme, révélait la présence de taches plus intenses et de zones sombres. De plus, les observations obtenues à 24 heures d'intervalle indiquaient d'importantes variations de l'intensité et de la localisation de ces taches.⁽³⁾ Afin d'étudier ces effets plus en détail, les images furent traitées sur ordinateur. Le contraste fut amélioré au maximum et des projections cartographiques furent réalisées de manière à créer à partir de chaque image un « planisphère » représentant la répartition de l'intensité lumineuse. Finalement, une carte complète de la face nocturne de Vénus fut obtenue en combinant près de 40 images individuelles (voir figure). On observe en blanc le croissant de Vénus éclairée par le soleil, tandis que les taches rouges ou jaunes dans la partie nocturne indiquent les lueurs dues à l'oxyde d'azote. L'échelle des couleurs s'étend de 1 (rouge foncé) à 15 (blanc) kilo-Rayleighs.⁽⁴⁾ On distingue nettement une tache brillante dans la région équatoriale vers 3 heures du matin. L'intensité est également remarquable: en moyenne, elle vaut plus de 150 fois la valeur observée dans la lumière du ciel nocturne terrestre.⁽⁵⁾

Dans le passé, des observateurs terrestres ont, à plusieurs reprises, cru détecter sur la face nocturne de Vénus la présence d'une lueur diffuse baptisée « lumière cendrée » par analogie avec la luminosité observée sur la face sombre de la Lune. Ainsi, dès 1643, Giovanni Riccioli, jésuite de Bologne, décrit ses observations d'une faible lueur sur la face sombre de Vénus. Au cours des trois siècles suivants, l'origine de la lumière cendrée et son existence même furent souvent remises en question. Elle fut attribuée suc-

(1) Les premiers résultats de la mission Pioneer-Venus ont été présentés dans deux numéros spéciaux de la revue *Science* (203, 743, et 205, 41, 1979).

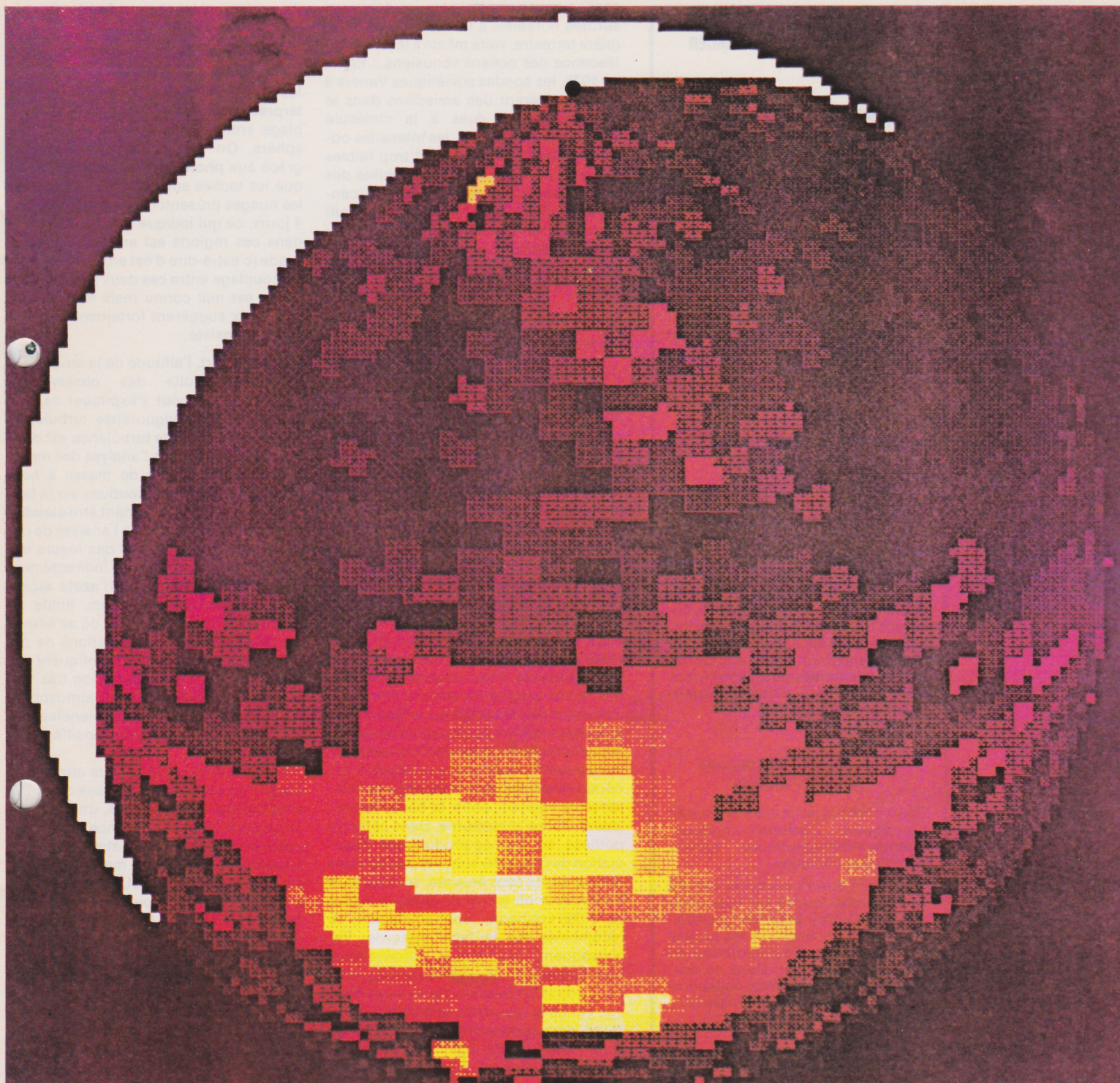
(2) A.I. Stewart, D.E. Anderson, L.W. Esposito, C.A. Barth, *Science*, 203, 777, 1979; A.I. Stewart et C.A. Barth, *Science*, 205, 59, 1979.

(3) J.C. Gérard, A.I. Stewart, D.W. Rusch, S. Bougher. Communication présentée à la réunion de l'American Geophysical Union, San Francisco, décembre 1979 et A.I. Stewart, J.C. Gérard, D.W. Rusch et S. Bougher, à paraître dans *J. Geophys. Res.*, 1980.

(4) 1 kilo-Rayleigh est une unité de luminance égale à 10⁹ photons/cm².secunde émis dans toutes les directions.

(5) P.D. Feldman et P.Z. Takacs, *Geophys. Res. Lett.*, 1, 169, 1974 et J.C. Gérard, *Geophys. Res. Lett.*, 2, 179, 1975.

(6) R.E. Dickinson et E.C. Ridley, *Icarus*, 30, 163, 1977.



Cette image en fausses couleurs de la face nocturne de Vénus a été réalisée spécialement pour la Recherche ; elle a été obtenue dans l'ultraviolet par le spectromètre à bord de Pioneer-Venus. Pour l'obtenir, on a effectué par ordinateur la projection orthographique d'un ensemble d'images recueillies au cours de 35 orbites autour de la planète. En effet, pendant que la planète est en vue de l'instrument, une étroite bande du disque planétaire est balayée par la ligne de visée à chaque rotation (12 secondes) de l'orbiteur. En raison du mouvement du satellite sur son orbite, cette bande se déplace lentement en latitude. En juxtaposant a posteriori 450 lignes, une image quelque peu déformée de planète est ensuite recréée. La longueur d'onde des observations varie de 100 à 340 nm et peut être modifiée par l'envoi de télécommandes vers Pioneer. Une heure et demie est nécessaire pour accumuler les observations utiles à la reconstitution d'une image complète s'étendant de 60° de latitude Sud jusqu'au pôle Nord. Le croissant blanc dans la partie gauche du disque correspond à la zone de la planète éclairée par le Soleil où la lumière est réfléchiée par les nuages. Le pôle Nord est indiqué par un point noir tandis que le bas de l'image correspond à 60° de latitude Sud. Les zones rouges et jaunes dans la partie nocturne sont dues aux émissions atmosphériques de l'oxyde d'azote produites par recombinaison d'oxygène et d'azote.

Ce type d'observations permet de visualiser le transport des atomes d'une face à l'autre de Vénus dû à la différence de température à haute altitude entre l'hémisphère éclairé et l'hémisphère sombre.

**COOPÉRATION FRANCO-AMÉRICAINE
DANS LE DOMAINE DU CANCER**

**APPEL D'OFFRES
INSERM**

La coopération franco-américaine dans le domaine du cancer initiée en 1975 à la demande des Présidents des deux pays, sera poursuivie sous l'égide de l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale et du National Cancer Institute de Bethesda.

Deux actions de recherche sont mises en place, l'une correspondant aux aspects fondamentaux de la cancérogénèse, l'autre aux recherches cliniques en cancérologie.

**I - ASPECTS FONDAMENTAUX
DE LA CANCÉROGÉNÈSE**

— Seront reçus tous les projets intéressant les mécanismes cellulaires ou extracellulaires jouant un rôle dans le développement des cancers.

— Des recherches portant sur des domaines de pointe en cancérogénèse et dont on souhaite le développement en France seront particulièrement soutenues surtout celles impliquant des concepts nouveaux ou faisant appel à des approches méthodologiques nouvelles et éventuellement à des modèles expérimentaux originaux.

**II - RECHERCHES CLINIQUES
EN CANCÉROLOGIE**

Seront reçus les projets ayant trait aux études physiopathologiques, pharmaco-thérapeutiques expérimentales et cliniques.

Pourront être financés les projets de recherche fondés sur une collaboration effective avec des laboratoires américains ainsi que les projets faisant état d'une collaboration en voie d'établissement. Dans ce dernier cas, la réalité de cette collaboration fera l'objet d'un examen particulier ultérieurement.

**Formulaires à retirer et à retourner
au Département des Relations Internationales et des Relations Publiques - INSERM - 101, rue de Tolbiac - 75654 Paris Cédex 13 - Tél.: 584.14.41 p. 259.**

Date limite de réception
des demandes:
1^{er} juin 1980

cessivement à un effet corpusculaire, aux aurores boréales, à la réflexion de la lumière terrestre, voire même à la phosphorescence des océans vénusiens... Enfin, en 1975, les sondes soviétiques Venera 9 et 10 décelèrent des émissions dans le domaine visible dues à la molécule d'oxygène. Cependant, les intensités observées par les sondes sont trop faibles par rapport au seuil de détectabilité des télescopes terrestres. La lumière cendrée, si elle existe, doit probablement être attribuée à la lumière diffuse issue du croissant de la planète éclairé par le Soleil ou à la réflexion de la lumière des étoiles sur la couche de nuages vénusiens.

Des vents de plus de 1 000 km/heure.

Que peuvent apporter ces observations nouvelles à notre connaissance de Vénus et des atmosphères planétaires en général? Comme nous l'avons dit, cette lumière atmosphérique nocturne n'est que la signature optique de la recombinaison de l'oxygène et de l'azote atomique. D'où proviennent ces atomes? La nuit vénusienne dure 58 jours et les atomes créés par la dissociation des molécules sous l'effet de l'ultraviolet solaire se recombinaient peu après le coucher du soleil. On doit donc s'attendre à ce que ceux-ci aient disparu bien avant minuit et que la leur associée reste confinée aux régions crépusculaires. Il faut donc leur chercher une autre origine. Il semble bien qu'il s'agisse d'atomes créés sur la face diurne et transportés en quelques jours vers la face nocturne où ils émettent la lueur observée par Pioneer. Cette circulation générale serait due à la différence de température régnant entre la haute atmosphère diurne et nocturne. Dans cette hypothèse, les atomes produits par dissociation de CO₂ et N₂ sont transportés vers le haut sur la face éclairée, traversent le terminateur où les vents atteignent plus de 1 000 km/heure, pour finalement se recombinaient sur la face nocturne. Par conséquent, les lueurs ultraviolettes constitueraient un remarquable « traceur » de la circulation thermosphérique sur Vénus et les zones de luminosité intense correspondraient aux régions de vents descendants. Des modèles théoriques, élaborés il y a trois ans aux États-Unis,⁽⁶⁾ avaient déjà introduit l'idée de circulation vers l'hémisphère nocturne de Vénus mais ils n'avaient jusqu'à présent pu être étayés par des données expérimentales. Ces nouvelles observations constituent une éclatante confirmation de ces mouvements à l'échelle planétaire. L'analogue terrestre de cette circulation est observé dans la troposphère, région comprise entre 0 et 15 km d'altitude où des vents méridionaux circulent également entre les régions chaudes

(l'équateur) et les régions froides (les pôles).

Par ailleurs, le déplacement du maximum d'intensité visible sur le cliché vers les heures matinales (ouest) peut être interprété comme une indication du couplage entre la basse et la haute atmosphère. On sait, en effet, notamment grâce aux photos prises par Mariner 10, que les taches sombres observées dans les nuages présentent une périodicité de 4 jours, ce qui indique que l'atmosphère dans ces régions est en rotation rétrograde (c'est-à-dire d'est en ouest) rapide. Le couplage entre ces deux régions d'altitude est mal connu mais les résultats nouveaux suggèrent fortement que l'interaction existe.

D'autre part, l'altitude de la couche lumineuse déduite des observations (≈ 110 km) ne peut s'expliquer sans la présence d'une vigoureuse turbulence. L'existence de cette turbulence est d'ailleurs en accord avec l'analyse des mesures de spectromètre de masse à bord d'une des sondes descendues sur la face diurne. Elle peut maintenant être étendue à la face nocturne grâce à l'analyse de ces clichés. Enfin, l'intensité des lueurs observées permet de déduire indirectement la quantité d'oxygène et d'azote atomiques au-dessous de 150 km, limite atteinte par l'orbiteur, région où se situent les plus grandes concentrations de ces deux atomes. Les résultats indiquent que l'oxygène est en concentration très voisine de celle observée dans l'atmosphère terrestre alors que les deux planètes présentent cependant des compositions très différentes.

L'observation de la lumière atmosphérique n'en est certes pas à ses débuts s'est avérée, dans le passé, un outil précieux pour l'étude à distance de la composition de la dynamique atmosphérique. Longtemps limitée aux mesures locales effectuées à partir du sol, cette technique a pris un essor nouveau grâce aux moyens spatiaux. Ceux-ci permettent d'étendre la couverture des zones observées et d'obtenir une vue globale de la planète. C'est ainsi, par exemple, que l'existence de l'anneau équatorial ultraviolet entourant la Terre avait été découvert par le satellite OGO-4 en 1969 et observé depuis la Lune par les astronautes d'Apollo 16. Couplée aux méthodes d'observations *in situ*, il est à parier que cette technique trouvera, dans le futur de l'exploration planétaire, d'autres applications. Une prochaine opportunité pourrait bien se présenter à l'occasion de la mission V.O.I.R. qui doit effectuer une cartographie détaillée du relief de Vénus, mais pourrait également emporter des instruments spécialement conçus pour la télé-détection de la circulation vénusienne.

Jean-Claude Gérard et A. Ian Stewart.