

L'astronomie dans le monde

Le Soleil, étoile variable

Les variations de luminosité de l'astre du jour ont été mesurées avec grande précision par le satellite SMM (Solar Maximum Mission) depuis son lancement en 1980, jusqu'à sa rentrée dans l'atmosphère en 1989. Cet intervalle de temps couvre presque un cycle solaire de 11 ans et il est intéressant de constater une nette corrélation entre l'irradiance solaire et l'activité magnétique et photosphérique : le Soleil est en moyenne le plus lumineux au maximum du cycle, ce qui semble normal à première vue... et pourtant c'est au maximum d'activité que les taches sont les plus nombreuses. Ces variations sont minuscules, quelques millièmes tout au plus, et il faut des instruments extrêmement bien calibrés pour les détecter. Il faut aussi éliminer les effets néfastes de l'atmosphère, ce qui oblige à faire les observations par satellite.

Le Soleil varie selon de multiples façons, sur des échelles de temps diverses. L'apparition de taches modifie rapidement (quelques jours) la luminosité. Les plages faculaires produisent des variations plus lentes, à l'échelle de quelques mois. La granulation superficielle, correspondant à des mouvements verticaux de matière est responsable de variations beaucoup plus rapides. On sait aussi que le Soleil est soumis à toutes sortes de vibrations qui se manifestent par des variations encore plus rapides (minutes ou heures).

* * *

Neptune

Une des (très nombreuses) surprises apportées par les missions Voyager a été la découverte de vents extrêmement violents sur la planète Neptune. La vitesse de ceux-ci atteint en effet 2.200 kilomètres par heure au voisinage de l'équateur, soit pratiquement la vitesse locale du son, Mach 1. (Rappelons ici

que la vitesse du son dépend des caractéristiques du milieu — en particulier de sa température —, et que Mach 1 sur Neptune n'est pas Mach 1 sur Terre.) Il faut bien sûr préciser par rapport à quoi se mesure cette vitesse, puisque Neptune n'a pas de surface solide détectable. La vitesse se calcule par rapport à la rotation du champ magnétique de la planète, qui se fait en 16 heures et 7 minutes. Dans le cas des planètes gazeuses, le champ magnétique est, pense-t-on, intimement lié au noyau interne, partiellement liquide, qui tourne en bloc. Ce noyau sert de référence. La rotation du noyau ne s'observe pas directement, mais elle module les émissions radioélectriques qui sont, elles, parfaitement observables.

Les vents neptuniens sont orientés plein ouest, sauf dans les zones relativement proches des pôles. Ainsi, l'atmosphère de Neptune tourne plus lentement que l'intérieur de la planète, ce qui est l'inverse de la circulation générale des vents sur Terre. Les mouvements atmosphériques terrestres sont entretenus par le Soleil. Mais à la distance de Neptune, le rayonnement solaire n'est que le millième de celui que nous recevons. Il est difficilement concevable qu'une si faible puissance aboutisse à des effets aussi importants. C'est pourquoi on a invoqué d'autres sources d'énergie, telle l'énergie interne dégagée lentement par la planète. Il restait cependant à expliquer la curieuse distribution de la direction des vents.

Une nouvelle théorie a été proposée par des chercheurs de l'Université du Wisconsin. Elle invoque simplement les mouvements ascendants et descendants de matière entre le noyau et la surface visible, soit une différence d'altitude de plusieurs milliers de kilomètres. La loi de conservation du moment cinétique implique qu'un élément de matière s'élevant depuis le noyau diminue sa vitesse angulaire. Et cet effet sera d'autant plus prononcé que l'on s'approche de l'équateur. En étudiant cette hypothèse en détail, on s'aperçoit que près des

pôles (à des latitudes supérieures à 54°), le mouvement de rotation s'inverse. La vitesse de rotation de l'atmosphère y est plus rapide que celle de l'intérieur. C'est exactement ce qu'a révélé l'étude des observations de Voyager 2. La proposition des chercheurs américains a donc de grandes chances d'être proche de la réalité. D'autant que, ne faisant pas intervenir la chaleur solaire, elle élimine la pierre d'achoppement des autres hypothèses.

Cela dit, il ne faut pas s'imaginer que Neptune est indifférente aux rayons de l'astre du jour. Mais là aussi, la planète se manifeste

par un comportement des plus curieux. Nous avons vu dans la rubrique précédente que la luminosité solaire varie avec la périodicité du cycle de onze ans. En réfléchissant la lumière du Soleil, les planètes devraient montrer la même périodicité. Depuis une vingtaine d'années, la luminosité de Neptune est surveillée régulièrement et on avait remarqué une corrélation très nette avec l'activité solaire : en période de forte activité solaire (1980) Neptune est plus faible que durant les périodes calmes (1975, 1986)... ce qui est exactement l'inverse de ce que fait la luminosité solaire!

Voilà donc un premier problème que les astronomes ont tenté de résoudre par diverses théories. Ces théories font en général appel à des modifications physico-chimiques des particules en suspension dans l'atmosphère de

Neptune, modifications provoquées par l'excès de rayonnement ultraviolet lors des maximums, ou par l'augmentation du rayonnement cosmique lors des minimums (le champ magnétique général du système solaire est alors

moins puissant et offre un obstacle moins important aux particules chargées provenant de la Galaxie).

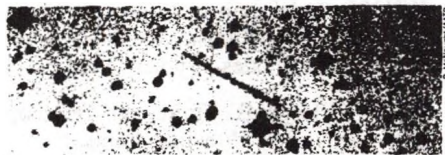
Las! Lors du tout récent maximum (1990), cette belle corrélation s'est complètement inversée : Neptune était plus brillante que jamais. Aucune explication plausible n'est encore avancée.

Comètes ou astéroïdes?

Nous parlions récemment d'astéroïdes aux orbites curieuses, frôlant la Terre, et aussi de Chiron, le mystérieux astéroïde qui se cantonne dans les profondeurs du système solaire, et qui, s'étant affublé d'une coma, « est devenu » une comète.

Un nouvel astre, 1991 DA, découvert en février par l'australien R. McNaught, présente l'aspect ponctuel d'un astéroïde (on estime ses dimensions à 5 kilomètres), mais a une orbite tout à fait caractéristique d'une comète : inclinaison de 62° sur le plan de l'écliptique (plan dans lequel circulent la Terre, les planètes, et la plupart des astéroïdes), et forte excentricité l'emmenant tous les 41 ans au-delà de l'orbite d'Uranus.

Il y a une faible chance pour que 1991 DA soit effectivement un astéroïde éjecté d'une trajectoire plus normale par suite de perturbations gravifiques, ou d'une collision, mais les astronomes penchent plutôt pour l'hypothèse selon laquelle l'astre serait une comète éteinte. Miraculeusement elle aurait échappé aux influences des grosses planètes qui ont tendance à capturer les comètes au centre du système solaire ou bien, au contraire, à les envoyer bien loin dans l'espace.



1991 DA, sur une plaque Schmidt d'Australie.

L'étude des astéroïdes qui croisent l'orbite terrestre révèle aussi que certains d'entre eux pourraient être le siège d'une certaine activité; ils seraient tout bonnement des comètes.

C'est en analysant l'orbite d'une douzaine de ces petites planètes que D.K. Yeomans du Jet Propulsion Laboratory a découvert que 1566 Icarus et 1862 Apollo se comportent de façon curieuse. La théorie de la gravitation, qui explique très bien la plupart des orbites planétaires ne suffit pas à rendre compte du mouvement observé de ces deux astéroïdes. Des forces supplémentaires semblent être en cause. Il ne faut pas chercher bien loin pour trouver ce que pourraient être ces forces. Le calcul des éphémérides cométaires fait appel à des forces non-gravitationnelles, qui sont tout simplement dues à l'éjection de matière (effet de fusée). De telles forces pourraient donc agir sur quelques astéroïdes, qui seraient des comètes pratiquement éteintes.

Ce n'est évidemment pas par hasard que cette poignée d'astéroïdes ont été étudiés, plutôt que les milliers d'autres qui orbitent sagement dans la « ceinture des astéroïdes », entre Mars et Jupiter. D'une part on n'est pas absolument sûr que les perturbations planétaires sur les astéroïdes normaux (ceux de la ceinture) suffisent à rendre compte du nombre élevé d'astéroïdes croisant l'orbite terrestre. D'autre part ces mêmes perturbations planétaires, agissant sur des comètes, peuvent amener un certain nombre d'entre elles à avoir des orbites croisant la Terre, et tout à fait similaires à celles de ces astéroïdes. On pouvait donc s'attendre à rencontrer une certaine proportion de comètes éteintes parmi ces astres. C'est ainsi que Weissman avait dressé en 1989 une liste de 27 astéroïdes-candidats comètes. Ce sont les mieux observés d'entre eux qu'a choisis Yeomans pour son étude.

L'âge des amas globulaires

Comment s'est formée la Galaxie, et combien de temps a-t-il fallu pour qu'un nuage de gaz se contracte sous la forme de la galette que nous connaissons? Selon les théories actuelles, la *protogalaxie* a dû se contracter en une durée d'environ un milliard d'années. C'est le temps

naturel de *chute libre* si rien ne vient perturber la contraction du nuage. On pense aussi, à cause de leurs orbites excentriques autour de la Galaxie, que les amas globulaires se sont formés au cours de cette contraction initiale, et qu'ils représentent les plus vieux objets de la Galaxie.

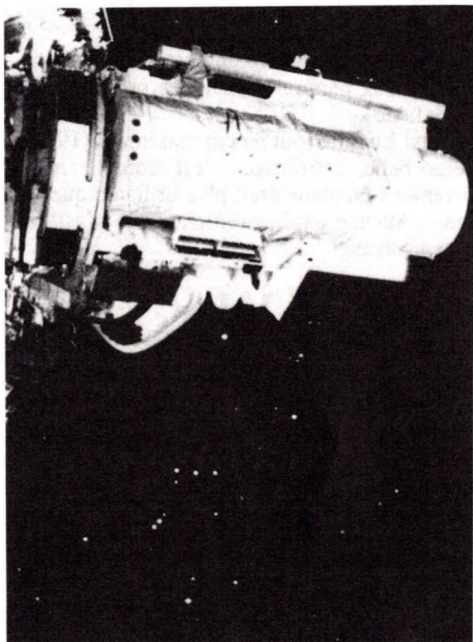
Mais voici que l'analyse minutieuse des abondances en fer, carbone, azote et oxygène de deux amas globulaires NGC288 et NGC362 vient tout remettre en question. L'analyse des abondances, associée aux théories de l'évolution stellaire, permet en effet de déduire l'âge des amas, et entre ces deux objets, il y a une différence anormalement grande, bien supérieure au temps de chute libre. Déjà suspecté depuis quelques années, l'étalement de ces âges sur plusieurs milliards d'années est donc confirmé. Dans ces conditions, il est impossible que la Galaxie se soit formée en un temps aussi court qu'un milliard d'années. Les théoriciens en sont donc réduits à chercher de nouvelles façons de fabriquer les galaxies.

* * *

Astro, un observatoire à bord de la navette

Date prévue du premier vol, juillet 1983; nombre de vols, une *demi-douzaine*. Tels étaient les objectifs initiaux du projet Astro qui prévoyait de multiples missions d'un observatoire astronomique très sophistiqué, profitant des conditions idéales de l'espace pour mener à bien des observations importantes. Avec les déboires de la navette, le programme des vols devint de moins en moins ambitieux et en juillet 1989, le programme de la NASA ne prévoyait plus que trois missions Astro. Six mois plus tard, l'objectif se réduisait à une seule mission.

Cette mission eut lieu en décembre 1990 et fut émaillée d'une myriade de difficultés techniques qui firent les gros titres des journaux. Mais ces difficultés furent surmontées et le vol d'Astro à bord de *Columbia* fut un succès complet. C'est sans doute là une raison primordiale de la révision du programme spatial, qui prévoit maintenant au moins une seconde mission Astro.



L'observatoire Astro, à bord de la navette Columbia, se profile au-dessus de la constellation d'Orion. Voir aussi la couverture 2. (Cliché NASA)

De très nombreuses observations ont été réalisées. Les télescopes d'Astro ont profité des moindres instants du court séjour en orbite (moins d'une dizaine de jours) pour recueillir une moisson impressionnante. Les diverses expériences étaient les suivantes :

- BBXRT, le Broad Band X-ray Telescope; grâce à son avantage technologique sur le fameux satellite Einstein qui avait cartographié avec grand succès le ciel en rayons X, BBXRT a pu obtenir des spectres à bonne résolution de certains astres parmi les plus faibles observés par Einstein;
- WUPPE, le Wisconsin Ultraviolet Photo-Polarimeter Experiment, a réalisé des mesures fondamentales de polarisation;
- HUT, le Hopkins Ultraviolet Telescope s'est occupé de l'ultraviolet lointain;

- UIT, le Ultraviolet Imaging Telescope, possède un champ de 40 minutes d'arc, beaucoup plus étendu que celui du Hubble Space Telescope, et cela lui a permis de découvrir des cibles intéressantes que le HST pourra ensuite observer en détail.

L'une des observations les plus intéressantes a été rendue possible par la vigilance d'un astronome amateur américain, Robert Hays, qui a détecté une éruption de la variable cataclysmique Z Camelopardalis. Prévenu à temps, l'équipe d'Astro a pu pointer le Hopkins Ultraviolet telescope et obtenir un magnifique spectre, unique en son genre.



Zoom d'une partie de la nébuleuse des Dentelles du Cygne, à la longueur d'onde ultraviolette de 1548 Angstroms (correspondant à une raie du carbone trois fois ionisé), par le télescope UIT. La comparaison des intensités à des longueurs d'onde différentes, permet de calculer les conditions physiques point par point dans la nébuleuse.

De nombreuses autres découvertes ou observations importantes ont été faites, comme : l'absorption de la lumière d'une étoile par le carbone interstellaire; la preuve que l'émission X des galaxies elliptiques est due à une composante gazeuse et non à des sources compactes; l'absorption de la lumière par l'oxygène sept fois ionisé dans les galaxies actives de type BL Lac, qui permettra de mieux dé-

terminer leurs distances et leurs propriétés physiques; la répartition des températures dans le gaz intergalactique extrêmement chaud (de 25 à 65 millions de degrés) qui englobe les amas de galaxies; et encore : la supernova 1987A, Algol, Jupiter, la nébuleuse d'Andromède... Astro a aussi probablement permis de réfuter l'hypothèse selon laquelle des neutrinos formeraient ce que l'on appelle la *masse manquante*. Et beaucoup d'autres données restent à étudier...

* * *

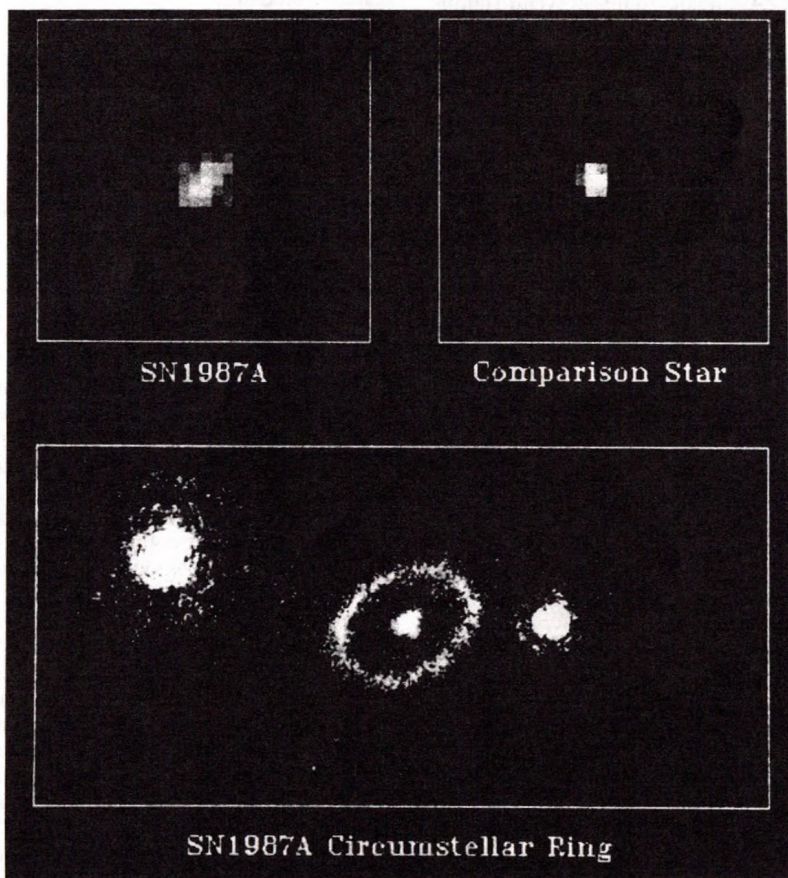
L'anneau de la supernova SN1987A du Grand Nuage de Ma- gellan

Dans notre bulletin de novembre 1990 (page 305), nous annoncions la découverte par le Hubble Space Telescope d'un anneau lumineux autour de la supernova du Grand Nuage de Magellan. Cet anneau est constitué de matière éjectée par le progéniteur de la supernova à la fin de sa vie, et éclairée par le flash lumineux de l'explosion. Les théoriciens qui se sont occupés du problème étaient arrivés à la conclusion que cet anneau était en fait une enveloppe entourant complètement la supernova. Ce sont les contours qui apparaissent sous la forme d'un anneau. On connaît effectivement de nombreuses nébuleuses qui se présentent sous cet aspect, notamment la nébuleuse annulaire de la Lyre (M57), et l'hypothèse semblait raisonnable. D'autant plus qu'il paraissait difficile d'expliquer comment une étoile supergéante, tournant lentement sur elle-même, pourrait éjecter de la matière dans un plan particulier (l'équateur), plutôt que dans tout l'espace.

Mais le dernier mot n'avait pas été dit sur cet objet. Des observations spectroscopiques à haute résolution ont révélé la structure réelle de la nébulosité, en permettant d'analyser le champ de vitesse par effet Doppler. La conclusion est qu'il s'agit bien d'un anneau, et non pas d'une enveloppe. Des observations plus poussées montrent aussi que la nébulosité ne se limite pas à l'anneau, mais à une structure plus compliquée, et plus étendue.

Le problème se pose donc de comprendre pourquoi la matière a été éjectée de façon aussi particulière. Une étoile supergéante — pré-curseur de la supernova — ne peut tourner rapidement sur elle-même par suite de la loi de conservation du moment angulaire. Même si la rotation avait été rapide lors des phases précédant celle de supergéante, l'expansion l'aurait ralentie considérablement. La seule façon

de procurer le moment angulaire nécessaire pour éjecter le gaz préférentiellement dans le plan équatorial, est d'imaginer la présence d'un compagnon. Par l'influence de sa gravitation, ce compagnon pourrait guider la matière dans le plan orbital. Il pourrait aussi obliger l'étoile supergéante à synchroniser sa rotation avec la période de révolution orbitale, donnant ainsi lieu à une vitesse équatoriale considérable.



L'anneau de la supernova SN1987A observé en août 1990 par le Hubble Space telescope

Ce scénario séduit beaucoup les astronomes car il rejoint certains modèles imaginés pour expliquer les caractéristiques particulières de la supernova du Grand Nuage (température élevée du progéniteur, anomalies chimiques de son enveloppe). Dans tous ces modèles on aboutit à une rotation rapide du progéniteur.

Un regard sur les origines du cosmos

D'après communiqué de presse
ESO du 31 mai 1991

Le New Technology Telescope (NTT) de l'ESO (European Southern Observatory), à l'Observatoire de La Silla (Chili), vient à nouveau de démontrer ses capacités extraordinaires. Reconnu depuis deux ans comme le meilleur télescope optique au monde, il a maintenant obtenu l'image la plus « profonde » de régions lointaines de l'Univers, surpassant ainsi tous les télescopes existants, qu'ils soient au sol ou en orbite. Cette dernière image montre une multitude de galaxies extrêmement faibles et lointaines, avec une magnitude limite au-delà de 29.

Le cliché le plus profond

C'est en mars 1991 qu'un groupe international d'astronomes a commencé un programme d'observation ambitieux utilisant le NTT. Le but était de détecter et de mesurer des galaxies inaccessibles aux autres télescopes.

Afin d'éviter la présence d'objets brillants parasites dans le même champ que ces galaxies faibles, les astronomes choisirent une région du ciel bien « vide » située dans la constellation du Sextant. Des observations antérieures avaient montré l'absence d'objets plus brillants que la vingtième magnitude. Ce choix était judicieux car le premier essai fut couronné de succès.

En utilisant un détecteur CCD de haute qualité à l'un des foyers du NTT, Bruce Peterson prit une série de 41 images du champ, totalisant ainsi 6 heures et 50 minutes d'exposition. Les images individuelles furent soumises à un traitement intensif par ordina-

teur, puis furent combinées en un seul cliché final, dont nous reproduisons ici une petite partie (2%).

Ce que montre le cliché

On sait depuis longtemps que la plupart des objets que l'on voit sur des clichés profonds, et qui dépassent la magnitude 24, sont des galaxies très lointaines, et non des étoiles individuelles, beaucoup plus proches, appartenant à notre Voie Lactée.

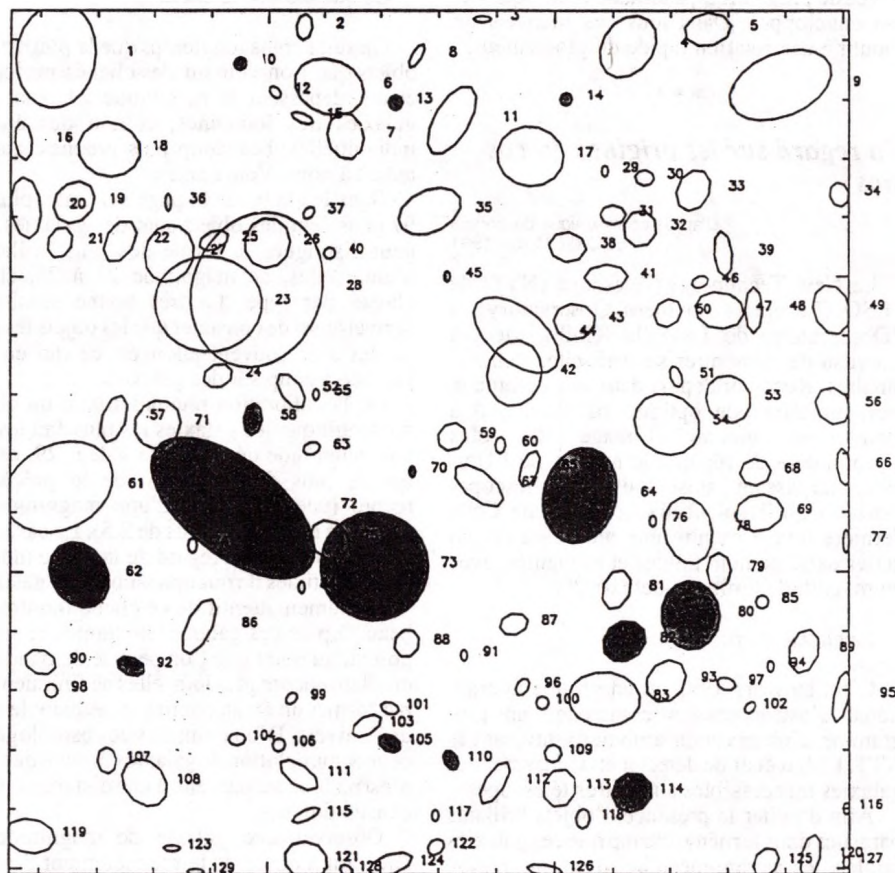
Dans le cliché de la page suivante, plus de 97 pour cent des objets sont des galaxies. On peut distinguer la forme des plus brillantes d'entre elles, de magnitude 21 à 25, et les classer par type. La très bonne résolution permet aussi de constater que les objets les plus faibles sont souvent allongés, ce qui en fait presque à coup sûr des galaxies.

De la calibration photométrique du cliché on déduit que les galaxies les plus faibles ont une magnitude dépassant la valeur 29, ce qui bat de plus d'une magnitude le précédent record (une différence d'une magnitude signifie un rapport d'éclats de 2,5). La carte que nous présentons en regard de la photo indique les magnitudes de quelques-unes des galaxies.

L'examen attentif de ce cliché montre que beaucoup de ces galaxies lointaines se superposent, au point que l'on peut se demander si, en allant encore plus loin, elles ne finiraient pas par former un écran continu, masquant le reste de l'univers. D'un point de vue cosmologique, cette accumulation de galaxies prouve que l'on n'est pas encore parvenu à une distance où leur densité diminue.

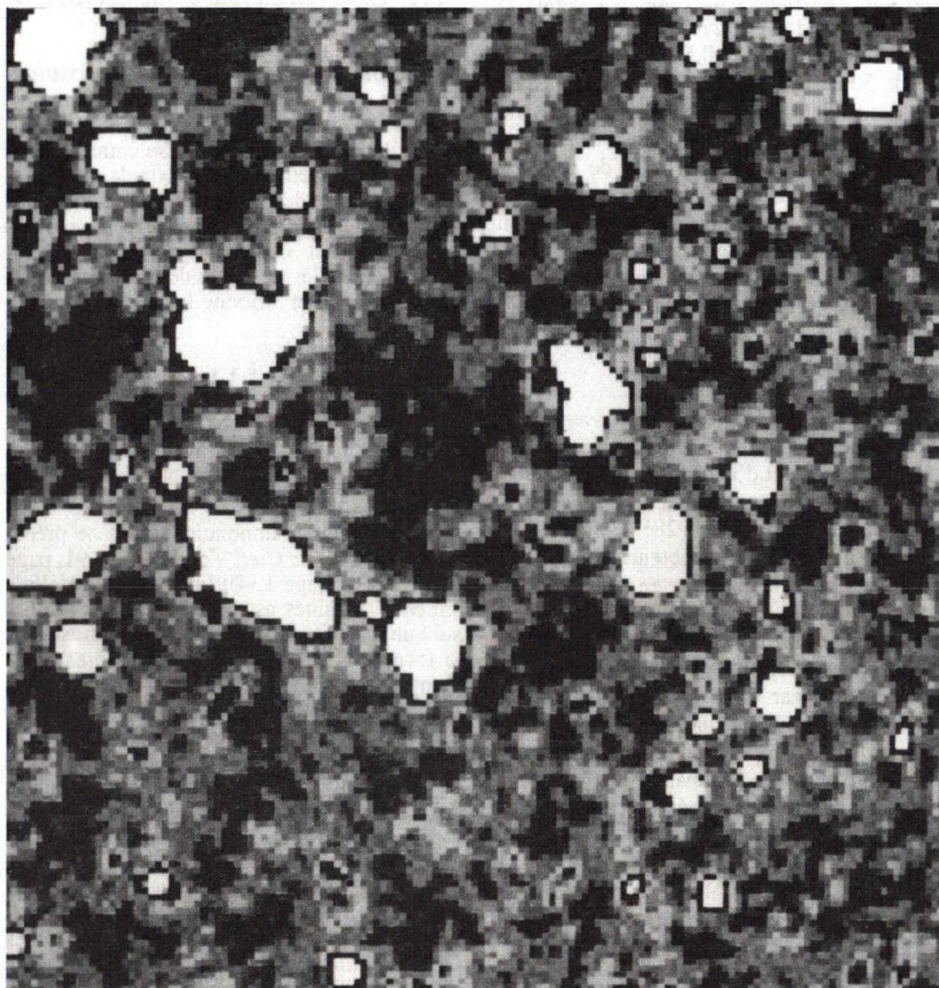
Observer une galaxie de magnitude 29 équivaut à observer le rougeoiement d'un cigare allumé à la distance de la Lune, ou encore à déceler depuis La Silla, la lueur d'un ver luisant à Munich (siège européen de l'ESO). Considérant que chacune des galaxies contient des milliards d'étoiles, il est clair que ces astres faibles se trouvent à des distances prodigieuses.

Comme pour les étoiles, il existe toute une variété de galaxies, depuis les naines jusqu'aux super-lumineuses. Il n'est pas facile de savoir quels sont les types représentés sur le cliché du NTT.



Cette carte identifie quelques-unes des galaxies qui sont vues dans l'image « profonde » obtenue au télescope NTT (page ci-contre). Les ellipses dessinées par ordinateur indiquent leur taille et leur forme. Les galaxies sont repérées par des numéros qui figurent à leur droite.

La séquence suivante, obtenues dans la bande photométrique V (correspondant à la lumière vert-jaune), illustre la *dynamique* fantastique du cliché : $V=20,3$ (galaxie n°72), 21,1 (73), 21,5 (64), 23,0 (62), 23,4 (80), 24,9 (114), 26,3 (58), 26,8 (92), 27,5 (105), 27,7 (110), 28,0 (13), 28,4 (10), 29,0 (70), 29,1 (45).



Ceci est la reproduction d'un fragment de $1,1 \times 1,1$ minute d'arc d'une image composite, obtenue en combinant 41 expositions de 10 dans la bande photométrique V, d'un champ de la constellation du Sextant ($\alpha=10^h45^m$, $\delta=-0^\circ14'$). Les images individuelles ont été obtenues au foyer Nasmyth du télescope NTT de 3m50 de l'ESO avec l'équipement EMMI, et un détecteur CCD de 1024 pixels de côté. Le seeing moyen était de 1 seconde d'arc. Le champ total couvrait 7,5 minutes de côté et la taille des pixels était de 0,44 seconde d'arc.

Ceci est l'image du ciel la plus profonde jamais publiée. (Cliché European Southern Observatory)

Si certaines de ces galaxies sont du même type que les Nuages de Magellan (galaxies naines), elles doivent avoir un redshift² déjà important, de l'ordre de 0,5 à 0,7, indiquant un âge de 50 à 60% de celui de l'univers. Si ce sont des galaxies normales, du type de la Voie Lactée, leur redshift doit être de l'ordre de 3 ou 3,5, soit un âge de 9 à 12% de celui de l'univers seulement. Des galaxies géantes seraient encore plus lointaines, et plus jeunes. On pourrait même envisager des quasars super-lumineux, qui nous feraient remonter encore plus près des origines de l'Univers.

Interprétation du cliché

Afin de mieux comprendre le message de ce cliché unique, toute une série d'observations sont prévues. Tout d'abord il faudra s'assurer des couleurs de ces galaxies, ce qui pourra être fait avec le NTT, jusqu'à la 28^{ème} magnitude. L'image présentée a été obtenue en lumière jaune. On en a déjà une autre en lumière rouge ce qui permettra une première classification très sommaire selon le spectre. On pense que les galaxies en formation, ou très jeunes, sont plutôt bleues car elles doivent contenir de nombreuses étoiles jeunes et chaudes. Les galaxies âgées qui ne connaissent plus de grandes phases de formation stellaire, ne contiennent plus de telles étoiles, et sont plus rouges.

Le NTT permettra aussi de prendre le spectre des galaxies plus brillantes que la magnitude 24. Cela donnera la valeur du redshift, et aura donc une importance cosmologique considérable.

La différenciation entre galaxies naines, proches, et galaxies lointaines, lumineuses, pourra se faire aussi par l'observation répétée du même champ. En effet, les supernovae qui exploseraient dans les galaxies naines seraient

suffisamment proches que pour être observables en grand nombre. Par contre aux redshifts de 3 et plus, elles resteraient invisibles.

A la pointe de la cosmologie observationnelle

Ce cliché du NTT nous laisse entrevoir tout ce que les moyens observationnels modernes sont en mesure de réaliser. Il nous fait découvrir des régions de l'univers encore inexplorées jusqu'à présent. C'est ce type de travail qui constituera le fer de lance de la recherche en cosmologie observationnelle pour les années à venir.

* * *

Le sursaut de la comète de Halley

ESO, communiqué de presse
du 31 mai 1991

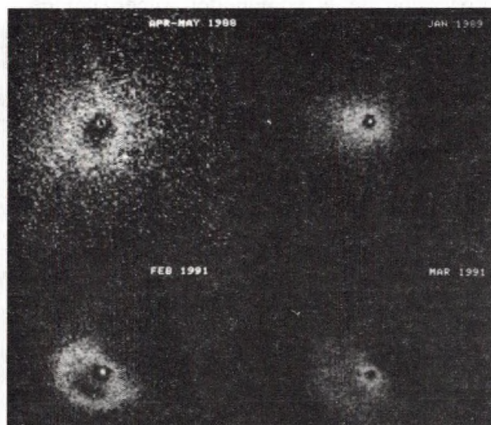
Comme nous l'annoncions dans de précédents bulletins (*Le Ciel*, Vol. 53, mars 91, page 97; avril 91, page 134); la comète de Halley, située à 14 unités astronomiques du Soleil, a subi un important sursaut qui se manifeste par la formation d'un nuage de poussières atteignant la magnitude 19. C'est la première fois que l'on observe une telle activité dans une comète aussi lointaine.

La comparaison d'images obtenues entre février et avril 1991 montre que la brillance superficielle du nuage s'affaiblit progressivement à mesure que sa dimension augmente. La condensation centrale devient plus floue, ce qui confirme la dissipation de cette coma.

En extrapolant dans le passé, on déduit que le sursaut, découvert par nos compatriotes Olivier Hainaut et Alain Smette, n'a pas été observé dès l'origine, mais qu'il a dû se produire aux alentours du 17 décembre 1990. D'autre part il semble que la masse expulsée par la comète (100.000 tonnes, soit un millionième de sa masse totale) est trop importante pour avoir été éjectée en une seule fois. Il est

² Le redshift (décalage vers le rouge) dénote le déplacement relatif vers les grandes longueurs d'onde du spectre d'un astre lointain, emporté par l'expansion de l'univers. Ceci est dû à l'effet Doppler. Le redshift permet de mesurer directement la vitesse de récession d'une galaxie, et par conséquent sa distance, qui lui est proportionnelle (loi de Hubble), et aussi le temps mis par la lumière pour nous en parvenir (à la vitesse de 300.000 kilomètres par seconde). Pour des objets très lointains, ce temps est une fraction importante de l'âge même de l'univers.

probable que l'événement initial a été suivi d'une émission continue. On ne sait toujours pas la cause du phénomène, collision, ou origine interne.



La photo ci-dessus montre la comète de Halley observée en avril-mai 1988, à une distance héliocentrique de 8,5 UA, en janvier 1989, à 10,1 UA, en février 1991 à 14,3 UA, et en mars 1991, à 14,5 UA. Les quatre images ont été obtenues au télescope danois de 1,5 m de l'observatoire de l'ESO à La Silla. Les temps de pose totaux, sur caméra CCD, vont de 7 à 27 heures. Le champ carré a une minute d'arc de côté.

* * *

Mildred est de retour!

ESO, communiqué de presse
du 31 mai 1991

Après avoir été considéré comme perdue pendant 75 ans, l'astéroïde (878) Mildred vient d'être retrouvé. Cette petite planète fut découverte en septembre 1916 par les astronomes américains Seth. B. Nicholson (1891-1963) et Harlow Shapley (1885-1963) avec ce qui était alors le plus grand télescope du monde, le 60 pouces du Mont Wilson, près de Los Angeles. Plusieurs observations de Mildred furent obtenues jusqu'à la fin d'octobre 1916, et une orbite préliminaire montra que Mildred occupait une orbite assez excentrique, juste au-delà de celle de la planète Mars. L'astéroïde reçut alors son nom, en l'honneur de la fille de Shapley.

L'éclat de (878) Mildred étant très faible on n'en fit plus aucun cliché dans les années qui suivirent, et ce, malgré les efforts d'astronomes de différents pays. Elle fut recherchée en vain à l'ESO dans les années 80.

A la demande de l'astronome belge Eric Elst, Oscar Pizarro de l'observatoire de l'ESO à La Silla exposa une plaque au télescope Schmidt de 1 mètre, le 10 avril 1991. Elst recherchait une variété rare de petites planètes, les « Troyennes », qui se trouvent sur l'orbite de Jupiter; il a d'ailleurs déjà découvert plusieurs nouveaux astéroïdes de cette classe. Quand Elst reçut la plaque à l'Observatoire d'Uccle, il découvrit plusieurs astéroïdes et en communiqua immédiatement les coordonnées au Centre des Petites Planètes de l'Union Astronomique Internationale, à Cambridge (Massachusetts.).



Le cliché ci-dessus montre le champ de Mildred, sur un cliché de 60 minutes obtenu au Schmidt de 1 mètre de l'ESO, à La Silla, le 11 juin 1977. Les étoiles sont fixes, alors que l'astéroïde a laissé une traînée de 40 secondes d'arc, à cause de son mouvement autour du Soleil. (Cliché European Southern Observatory)

C'est là qu'un jeune astronome anglais, Gareth Williams, effectua un joli travail d'« astro-détective » qui le conduisit à penser que l'une des nouvelles petites planètes de Elst pouvait bien être Mildred. Son mouvement semblait suivre une extrapolation des mesures de 1916. Williams en fut encore plus certain lorsqu'il découvrit qu'une autre petite planète, observée une seule fois en Crimée par Ludmilla V. Zhuravleva en 1985, pouvait être également

identifiée avec Mildred. La preuve finale vint lorsque Robert McNaught, à l'Observatoire de Siding Springs (Australie), retrouva également une image sur un cliché d'avril 1984. Quelques jours plus tard, les astronomes du Centre européen de l'ESO à Garching (Munich) identifièrent trois images supplémentaires sur des plaques Schmidt datant de 1977.

Mildred Shapley Matthews, en l'honneur de qui la planète fut nommée, travaille toujours comme éditrice au Lunar and Planetary Laboratory de l'Université de l'Arizona, à Tucson. Elle fut enchantée d'apprendre que l'on avait retrouvé son homonyme céleste.

Avec la redécouverte de (878) Mildred, il n'y a plus qu'une seule petite planète qui soit perdue, (719) Albert, que l'on n'a plus revue depuis 1911.

* * *

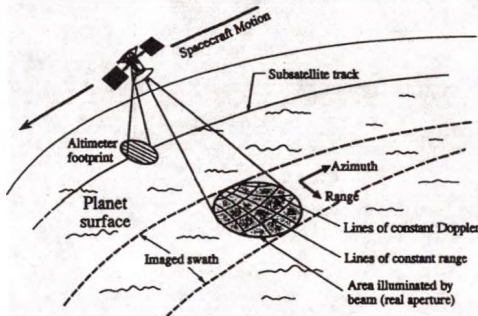
Première saison pour Magellan

La sonde Magellan a terminé sa première « saison » d'observation de la planète Vénus (voir *Le Ciel* de décembre 1990, Vol. 52, p. 336). Une saison dure 243 jours. C'est en fait le temps que met la planète pour effectuer une rotation complète sous l'orbite de la sonde. Si tout était parfait, on pourrait analyser toute la surface de la planète dans cet intervalle de temps puisque la sonde est en orbite polaire. Avec 7,3 orbites par jour, et 1789 révolutions en 243 jours, on se rend compte que Magellan balaye littéralement toute la planète. En réalité, l'orbite n'est pas parfaitement polaire, elle est inclinée d'un angle de $85^{\circ}30'$ sur le plan de l'équateur et, par suite de la procédure d'observation adoptée, une zone polaire échappe actuellement à la surveillance de Magellan.

Magellan est la première sonde planétaire lancée depuis la navette spatiale. Après un voyage de 15 mois, elle se plaçait en orbite vénusienne. La précision de la trajectoire était si bonne qu'aucune correction de l'orbite ne fut nécessaire.

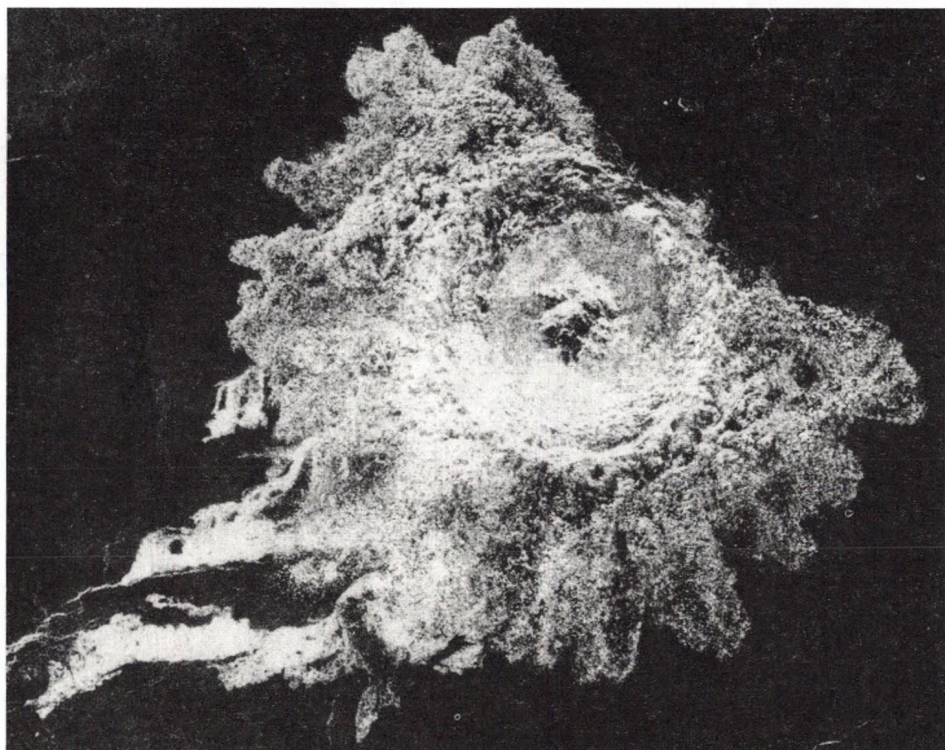
Le début de la mission ne fut pas exempt de surprises. Deux pertes de contact de quelques heures inquiétèrent les ingénieurs, mais heureusement chaque fois la liaison put se rétablir — sans que l'on découvre la cause de ces incidents.

La mission effective commença le 15 septembre 1990, et à l'exception de l'un ou l'autre petit problème, tout se déroule depuis comme prévu. Il fallut interrompre la liaison radio à l'occasion de la conjonction supérieure de Vénus, le Soleil s'interposant alors entre la planète et nous. Le survey s'arrêta ainsi du 26 octobre au 10 novembre, durant 111 orbites.



Les observations radio et radar de la sonde Magellan se font dans trois modes principaux; (i) l'imagerie SAR (side-looking synthetic aperture) qui, comme le nom l'indique, s'effectue sur le côté (à gauche par rapport au déplacement); c'est ce mode qui fournit les belles images de la surface planétaire, avec une résolution de 120 à 300 mètres selon l'altitude du vaisseau; (ii) l'altimétrie simple (à la verticale de l'engin) avec une précision relative de 5 mètres, et une précision absolue (selon l'incertitude sur l'orbite) de 50 mètres; (iii) la radiométrie thermique, avec une précision de 2 pour cent sur les émissions.

Parmi les défaillances techniques, la dégradation d'un des enregistreurs de bord est l'une des plus sérieuses. Chaque orbite donne 800 mégabits d'information (l'équivalent de 280 disquettes PC), qu'il faut enregistrer et envoyer vers la Terre aux moments favorables. Le rôle des enregistreurs est donc vital. On a dû se résoudre à se passer des services de l'un d'eux et, malgré la mise au point de méthodes efficaces pour utiliser au mieux l'équipement restant, la cartographie est brièvement interrompue trois fois par orbite, ce qui se manifeste par des arcs noirs sur les images. Cependant, après traitement par ordinateur, une grande partie de ces données pourront être récupérées.

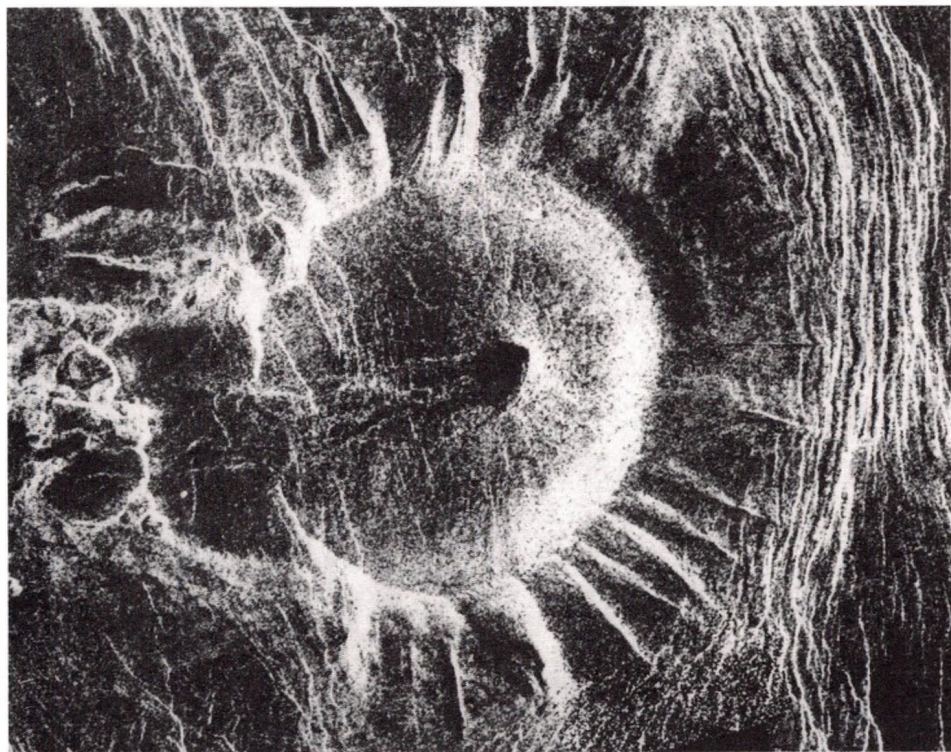


Le cratère Aurelia, de 32 km de diamètre, a été nommé en l'honneur de la mère de Jules César (par convention, les appellations topographiques vénusiennes honorent des femmes célèbres de la mythologie ou de l'histoire). Les débris se sont déposés de manière asymétrique, en fonction de l'angle de l'impact et de la direction des vents.

Au total, la première saison s'est achevée le 15 mai, avec la réalisation de plus de 84 pour cent du survey de la planète (le programme officiel tablait sur 70 pour cent seulement). Durant le second cycle d'observation, on prévoit de combler les lacunes, et principalement celle de la conjonction supérieure.

Des travaux plus particuliers sont aussi entrepris (observation sous des angles donnés, analyse de la gravité, images stéréoscopiques,

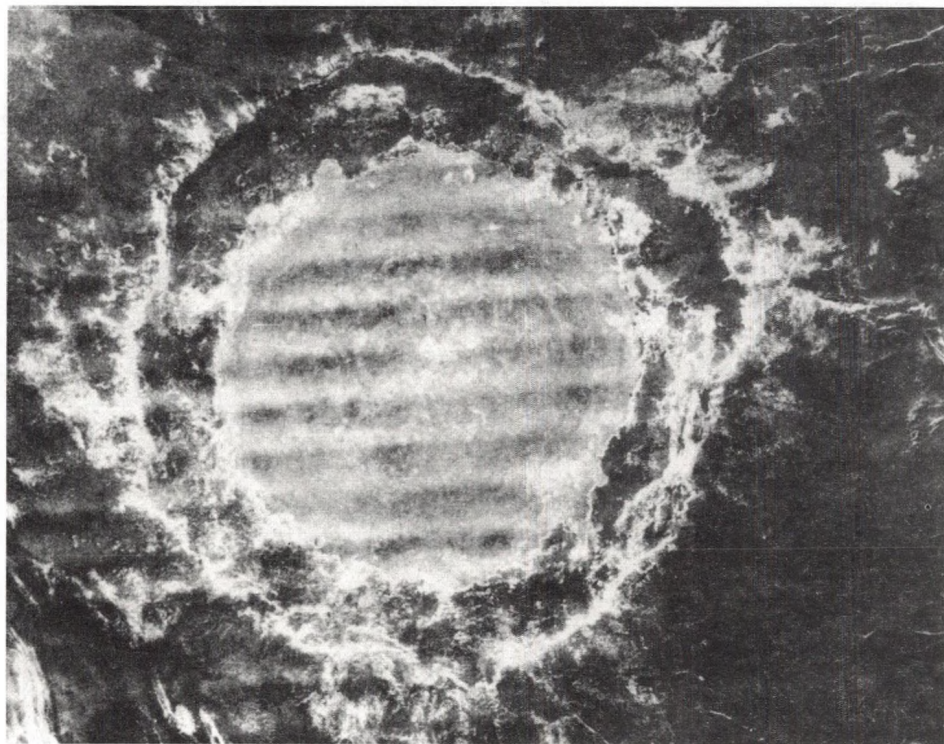
topographie à très haute résolution...). En outre on envisage de modifier l'orbite en abaissant le périastre (point de l'orbite le plus rapproché de la planète) pour que la sonde soit freinée par l'atmosphère. Ceci entraînera un abaissement de l'apoastre (point de l'orbite le plus éloigné) et une circularisation de l'orbite. L'altitude sera donc faible tout au long de celle-ci, ce qui permettra d'obtenir des images à très bonne résolution.



Cette structure volcanique (surnommée la « tique ») montre un cratère de cinq kilomètres de diamètre, au centre d'une cuvette de 35 kilomètres. Un flot de lave s'écoule vers l'ouest.

Les scientifiques n'ont pas encore étudié dans tous les détails cette masse d'informations — seuls 15 pour cent des données ont subi la première analyse — mais ils semblent être en mesure de répondre à quelques questions concernant la géologie vénusienne. Il est maintenant clair que la surface de Vénus est en grande partie constituée de plaines volcaniques et que les processus volcaniques et tectoniques ont dominé son évolution. Il est clair également que cette activité s'est poursuivie jusqu'à des époques très récentes, car le nombre de cratères

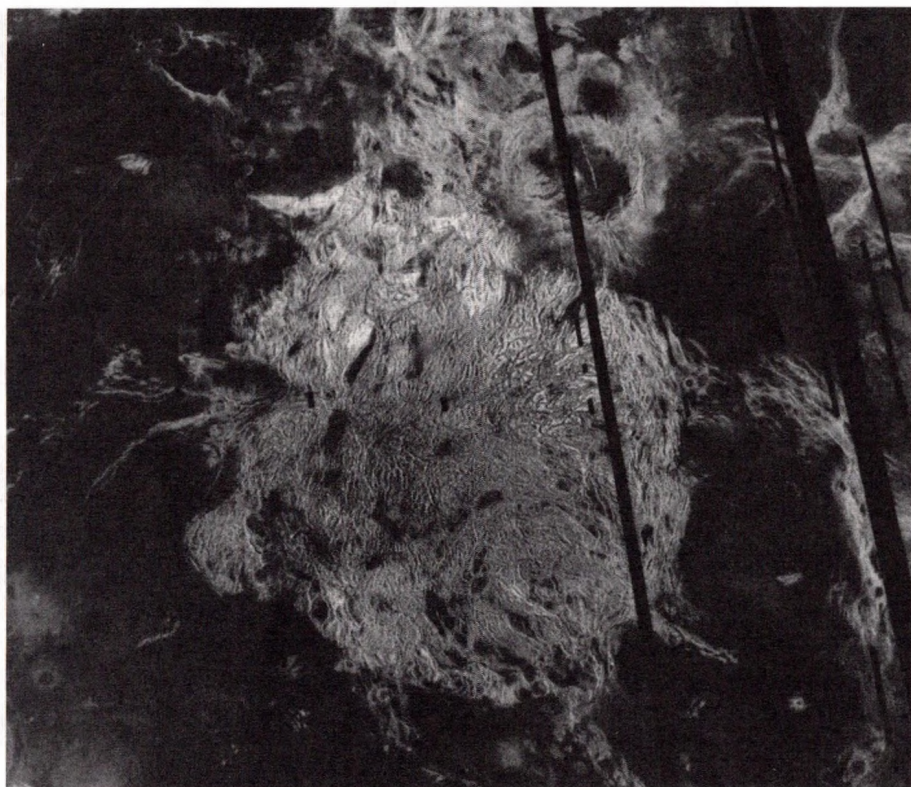
météoritiques rencontrés sur la planète est relativement faible. On connaissait déjà des cratères de plusieurs centaines de kilomètres (Télescope d'Arecibo) et les sondes Venera en avaient observé jusqu'à la taille de 8 kilomètres. Magellan a permis d'en découvrir qui n'ont que 3 kilomètres de diamètre. L'atmosphère épaisse de Vénus détruit les projectiles de petite taille avec une bien meilleure efficacité que celle de la Terre. Aussi les petits cratères sont-ils rares.



Le cratère Mead est le plus grand découvert à ce jour sur Vénus (275 kilomètres de diamètre). Les bandes parallèles marquent les différentes orbites, et mesurent 20 kilomètres de largeur. L'intérieur du cratère est plus brillant car, plus rugueux, il renvoie mieux les ondes radar.

Malgré l'activité tectonique et volcanique visible sur toute la planète, les mécanismes opérant sur Vénus semblent bien différents de ceux qui prennent place sur Terre. En particulier il n'y a rien de comparable aux plaques terrestres. Pourtant les images radar envoyées par la sonde Pioneer Venus il y a dix ans laissaient penser que la région d'Aphrodite Terra était l'équivalent de notre « Mid-Atlantic

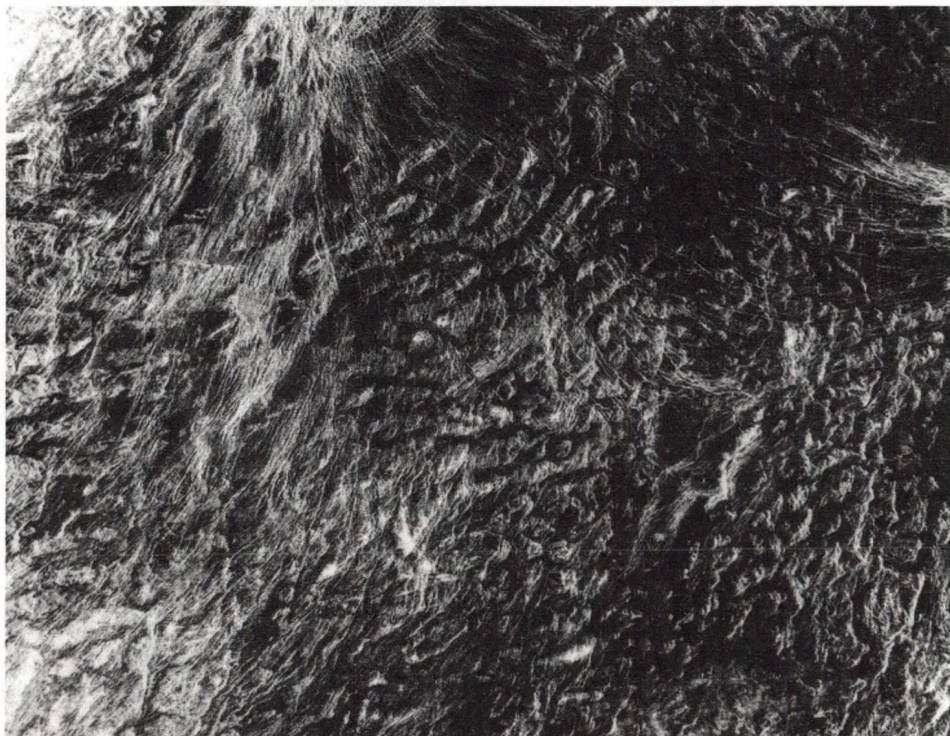
Ridge », cette chaîne sous-marine d'où jaillit le matériau qui forme la croûte terrestre, et à partir de laquelle les plaques océaniques s'écartent. Les vues très détaillées que Magellan donne d'Aphrodite Terra montrent que le modèle terrestre de la tectonique des plaques n'est pas du tout valable pour Vénus. Les failles, les plissements, les écoulements de lave s'avèrent très différents.



Alpha Regio (1300 kilomètres de côté sur cette image) est la première formation découverte par radar depuis la Terre. Les zones sombres sont des cuvettes ou des plaines remplies de lave. Sur cette image et les suivantes, les traits noirs sont les parties d'orbite où l'on ne dispose pas encore de données.

Le mouvement des plaques terrestres est commandé par la circulation de la matière « fluide » du manteau sous-jacent. Les plaques dérivent, comme entraînées par les courants d'un océan. Mais sur Vénus, tout semble se passer localement. Les mouvements internes du manteau sont plus verticaux et au lieu de glisser latéralement, la croûte monte ou des-

cend, en se plissant et se fracturant. Là où elle se soulève, le magma finit par se répandre sur l'écorce, comme une bulle venant crever à la surface de la planète, formant ce que l'on appelle un *point chaud*. On a découvert quatre points chauds de ce type sur Vénus, l'un d'eux étant Ovda Regio, dans la partie occidentale d'Aphrodite Terra.



Les grandes structures circulaires sont probablement ici d'origine volcanique, mais on distingue quelques petits cratères d'impacts, entourés de débris brillants. La rareté de ces impacts prouve l'intense activité géologique, qui finit par détruire toute trace de cratère après quelques dizaines ou quelques centaines de millions d'années.

Cette théorie n'est cependant pas la seule. On a proposé également que les points chauds marquent plutôt la convergence de courants horizontaux du manteau. En de tels endroits la matière est forcée de retourner vers l'intérieur de la planète, tandis que s'accumulent en surface les constituants plus légers. Une compa-

raison simple est l'écume qui flotte au-dessus du trou d'un évier qui se vide. Qui a raison? Quel est le vrai moteur de la tectonique vénusienne? Il faudra une analyse plus fine pour mieux comprendre les mystères de la géologie particulière de l'Etoile du Berger.



Ci-dessus : la chaîne qui traverse l'image (Lada Terra) de haut en bas est interrompue en son milieu par un flot de lave, comme une digue brisée en un point. La lave (sombre) qui s'était accumulée à gauche se répand maintenant du côté droit sur une surface de 100.000 kilomètres carrés.

Le cliché de droite couvre une superficie équivalente à celle de l'Antarctique, et contenant trois importants volcans, Sif Mons, Gula Mons et Sappho Patera, présentant des épanchements de lave. Quelques cratères d'impacts se distinguent par leur centre noir.