

L'astronomie dans le monde

J. Manfredi

Les neutrinos solaires

Les curieux du ciel n'ont pas manqué de sujets de réflexion ces derniers mois. Les malheurs du Hubble Space Telescope, ainsi que ceux des navettes spatiales ont été amplement et complaisamment relayés par la presse. Mais il y a heureusement aussi des résultats positifs, que l'aspect peu médiatique empêche de mettre à la une de l'actualité. Ainsi une découverte de très grande importance est passée complètement inaperçue du grand public. Comment en effet faire vibrer les foules en annonçant que, durant les quatre premiers mois de fonctionnement, le Soviet-American Gallium Experiment (SAGE) n'a pas observé de neutrinos solaires? Peut-être en insistant sur la coopération entre les grandes puissances?

Et pourtant il s'agit là d'une des plus grandes découvertes de l'astronomie moderne, qui va peut-être permettre de résoudre l'énigme des neutrinos solaires. Depuis vingt ans un détecteur de neutrinos mis au point par Raymond Davis fonctionne dans une mine d'or du South Dakota. Elle permet d'enregistrer les neutrinos émis par une des réactions nucléaires ayant lieu au centre du Soleil. Cette réaction est peu importante, mais c'est la seule dont les neutrinos, de grande énergie, pouvaient être détectés par l'expérience de Davis. Les neutrinos sont extrêmement difficiles à détecter. Ils traverseraient sans effort des blindages de plomb épais de plusieurs années-lumières. Cela explique que les détecteurs doivent contenir d'énormes masses de matière pour n'enregistrer que quelques rares événements.

Davis avait ainsi rempli un réservoir gigantesque avec un liquide riche en chlore. Occasionnellement, un noyau de chlore ^{37}Cl heurté par un neutrino de grande énergie, se transforme en argon ^{37}Ar , qui est radioactif. Le nombre de noyaux d'argon peut être compté,

ce qui donne le taux d'interaction. De là on peut remonter au nombre de neutrinos produits dans la réaction nucléaire dont nous parlions. Il se fait que le nombre en question est trois ou quatre fois plus faible que les prévisions. Or celles-ci semblent fiables. Les astrophysiciens ont fait subir toutes les contorsions possibles et imaginables à leurs modèles du Soleil sans parvenir à réduire suffisamment la production de ces neutrinos. Que fallait-il conclure? La seule explication qui semblait plausible était que d'une manière ou d'une autre les neutrinos se perdent en chemin, entre le Soleil et la Terre.

SAGE, une nouvelle expérience basée sur la transformation du gallium ^{71}Ga en germanium ^{71}Ge , et construite dans une mine près de Baksan en URSS, permet quant à elle la détection de neutrinos produits par les réactions fondamentales du Soleil, celles qui conduisent à la production de la plus grande partie de l'énergie solaire en fusionnant les noyaux d'hydrogène. Comme la puissance solaire est connue, on connaît bien le nombre de neutrinos qui doivent être produits de cette manière. Puisque SAGE n'en détecte pas (ou qu'il en détecte très peu, certainement moins de la moitié de la valeur théorique) il faut bien admettre que les neutrinos disparaissent en cours de route. Il serait évidemment important d'avoir une confirmation de l'observation de SAGE. Cela devrait être fait par GALLEX, une expérience qui aura lieu dans un tunnel italien à partir de cette année.

Une interprétation de la disparition des neutrinos est que ceux-ci interagissent avec la matière du Soleil après leur production. Cette interaction les conduit à se transformer en d'autres espèces, indécélérables, de neutrinos. Cette théorie demande que la masse du neutrino original, dit neutrino d'électron, ne soit pas nulle, mais ait une valeur finie, de l'ordre du millièème d'électron-volt. La valeur de la masse du neutrino a de grandes implications

en physique des particules mais aussi en cosmologie, où elle interviendrait pour expliquer la masse manquante.

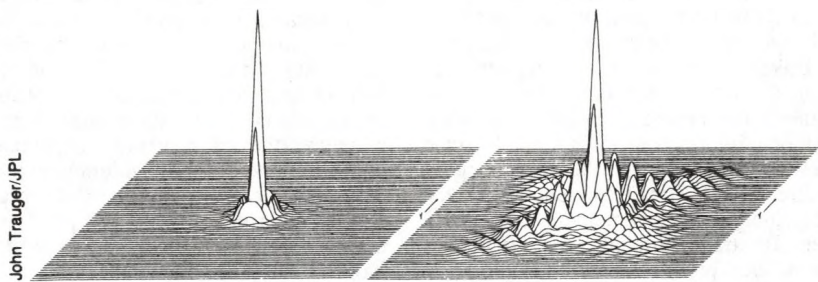
Première lumière pour Hubble

Après une longue attente qui a mis les nerfs des astronomes à rude épreuve, le Hubble Space Telescope est enfin opérationnel dans la mesure où il a pu prendre les premières images du ciel. L'exploitation de l'observatoire spatial par la communauté scientifique devra cependant encore attendre quelque temps. De nombreux réglages sont nécessaires pour assurer un fonctionnement optimal.

C'est le 20 mai que les deux premières images ont été obtenues, sur l'amas ouvert NGC3532 dans la constellation de la Carène. Immédiatement, on constatait que la qualité du piqué dépassait celle des clichés pris au sol, mais pas de beaucoup. Le suivi n'avait pas été parfait et les étoiles étaient affectées d'un léger brouiller. De plus la manipulation électronique des données avait été mal faite et le contraste inadéquat grossissait les images de façon anormale. Dès que cela fut pris en compte on annonçait que la qualité du piqué était très bonne, de l'ordre de 15 centièmes de

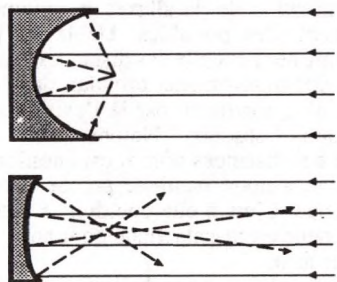
seconde d'arc, soit pratiquement celle que l'on voulait atteindre après les réglages, et qui devait être de 10 centièmes de seconde. On n'était donc pas loin du but et, une fois n'est pas coutume, les scientifiques avaient le plaisir de voir le programme du HST rattraper un peu de son retard.

Hélas ces premières informations optimistes cachaient une réalité beaucoup moins souriante. Des rumeurs insistantes infirmaient immédiatement les déclarations officielles en faisant état d'un grave problème optique. Ces rumeurs ne tardèrent pas à être confirmées quand, après avoir effectué tous les tests imaginables, les ingénieurs admirent que la combinaison optique du télescope ne répondait pas aux spécifications. Celles-ci demandent que 70% des photons en provenance d'une source ponctuelle tombent dans un cercle de 0,1 seconde d'arc de rayon. En fait le HST ne peut y concentrer plus de 15%. Le reste forme une petite tache floue. Il faut un cercle de 0,7 seconde de rayon pour englober 70% de l'image. Ceci n'amène le HST qu'au niveau de qualité des meilleurs télescopes terrestres, ce qui bien sûr n'est guère enthousiasmant.



Tracé en perspective de l'intensité en fonction de la position. A gauche ce que le HST aurait dû voir en observant une étoile. A droite ce qu'il voit réellement. Le pic central est accompagné de toute une série de pics secondaires qui contiennent plus de 80% de l'énergie. Si les échelles avaient été respectées par le dessinateur du Jet Propulsion Laboratory, la figure de gauche aurait dû être plus de quatre fois plus haute, ce qui aurait mieux rendu l'importance du problème.

En termes d'optique les surfaces d'onde qui convergent vers le foyer présentent des écarts à la forme sphérique atteignant plusieurs longueurs d'onde entre le centre et le bord. Les amateurs taillant des miroirs au dixième ou au vingtième de longueur d'onde se rendront vite compte des conséquences d'une telle erreur. Les rayons lumineux provenant de la périphérie du faisceau ne convergent pas au même endroit que ceux venant du centre. C'est un exemple classique d'aberration de sphéricité.



Un miroir parfait renvoie le faisceau lumineux provenant d'une étoile en un point. L'optique du HST est loin d'être parfaite et les rayons centraux et périphériques ne se rencontrent pas au foyer.

Le télescope contient un miroir principal de 2m40 et un secondaire beaucoup plus petit, suivant le schéma de la plupart des télescopes terrestres. Les premiers tests indiquent que c'est le miroir principal qui est responsable de l'aberration. La symétrie parfaite du défaut montre qu'il ne s'agit pas d'une déformation lors du lancement, ou lors d'une manipulation quelconque. Comme le dit le *deputy project manager* J. Olivier « On soupçonne que les méthodes très sophistiquées utilisées pour le contrôle du miroir pendant le polissage ont conduit à une forme très précise, mais fautive ». Apparemment chacun des miroirs a été contrôlé séparément, mais la combinaison finale ne l'a pas été, par manque de moyens. Un comble pour un équipement aussi coûteux.

Une solution pour le Hubble Space Telescope

Peut-on faire quelque chose pour corriger ce défaut optique? Heureusement oui. Plusieurs solutions sont possibles. Le remplacement du grand miroir serait évidemment l'idéal, mais cela prendrait beaucoup de temps, et aussi deux voyages de la navette pour récupérer le HST et ensuite le remettre en orbite. De petits miroirs correcteurs, placés près du foyer, suffiront à corriger l'aberration sphérique. Cette solution est bien sûr beaucoup plus simple. Les retards considérables encourus par le HST font que les instruments qu'il a embarqués ne sont plus exactement à la pointe de la technique, et que des améliorations étaient envisagées. On envisageait donc de les remplacer par des versions plus modernes. Il suffira de munir les nouveaux instruments de leur propre optique correctrice. Une navette installera les nouvelles pièces d'ici trois ans, en supposant une cadence de vol normale. On fera ainsi d'une pierre deux coups.

Une autre solution, qui pourrait être appliquée immédiatement fait appel au traitement par ordinateur des images. C'est ce que l'on appelle une déconvolution. C'est une technique très au point, appliquée constamment par les radioastronomes, ainsi qu'en imagerie spatiale, en télédétection... L'image recueillie au foyer du HST est brouillée par l'aberration sphérique, mais toute l'information est là. Il suffit de la décoder par une technique adéquate.

Plusieurs raisons militent contre cette solution, pourtant bien prometteuse. D'une part les moyens de calculs nécessaires sont considérables. Les super-ordinateurs coûtent très chers. D'autre part les astronomes « optiques » rechignent devant ce type de méthode qui semble un peu miraculeuse, retirant d'on ne sait trop où une information apparemment perdue. Enfin les méthodes de déconvolution demandent un signal très clair, sans « bruit ». Autrement dit seuls les objets brillants, apportant un grand nombre de photons peuvent en bénéficier.

Que peut observer le HST, et à quoi doit-il renoncer?

Il n'est pas question d'attendre trois ans pour commencer des observations utiles. Le Space Telescope est prévu pour réaliser des mesures avec des détecteurs très différents qui ne sont pas tous affectés de la même façon par la perte de résolution.

Les avantages du HST par rapport à un observatoire terrestre sont, ou devaient être, de deux natures. L'absence d'atmosphère permet d'échapper à la turbulence, et donc d'avoir des images très nettes, limitées uniquement par la qualité et les dimensions du télescope. Elle permet aussi d'observer dans des gammes de longueur d'ondes invisibles, en particulier l'ultraviolet proche. Le HST est prévu pour observer dans l'UV, et ces observations restent possibles.

La perte de résolution spatiale se fait le plus cruellement sentir dans l'une des recherches les plus fondamentales qui concerne les dimensions de l'univers. On comptait mesurer avec précision la distance des galaxies de l'amas de la Vierge afin de fixer l'échelle des distances et, en vertu de l'expansion de l'univers, l'âge de celui-ci. En effet la vitesse de récession des galaxies est proportionnelle à leur distance. Remontant à l'instant zéro, le Big Bang, où la distance était nulle, on voit que le facteur de proportionnalité est directement relié à l'âge de l'univers. Comment mesurer la distance des galaxies. Celles-ci sont tellement lointaines qu'une méthode directe, par parallaxe trigonométrique, est impossible. Les méthodes indirectes utilisées jusqu'à présent sont entachées d'erreurs formidables (de l'ordre d'un facteur deux).

Le HST devait permettre d'appliquer à l'amas de la Vierge une technique utilisée jusqu'ici pour des galaxies très proches, la méthode classique des céphéides. Ces étoiles variables ont en effet une période de pulsation qui est directement reliée à leur luminosité. Si l'on observe une céphéide lointaine, et que l'on peut mesurer sa période, on connaît alors sa luminosité. Par comparaison avec des céphéides proches dont on a la distance avec une assez bonne précision, on obtient la distance de la céphéide lointaine. Pour observer des céphéides aussi distantes que l'amas de la

Vierge il faut résoudre les galaxies en étoiles individuelles. L'optique dégradée du HST ne le permet plus.

L'imagerie de galaxies et quasars très lointains est compromise par l'aberration sphérique actuelle. Il en va de même de celle d'amas globulaires ou de corps du système solaire.

Par contre la détermination précise de la position d'objets — les coordonnées du pic central — reste tout à fait faisable, avec la précision nominale de 0,007 seconde d'arc. Aussi les études astrométriques consistant en la détermination de parallaxes trigonométriques seront-elles possibles. De là on peut espérer raffiner l'échelle des distances et aussi détecter des mouvements orbitaux dans certaines étoiles, marquant par là l'existence de compagnons obscurs. Notons bien que l'échelle des distances dont il est question ici est relative à notre banlieue proche dans la Voie Lactée. C'est à elle que doit se raccrocher l'échelle extra-galactique dont nous parlions plus haut.

Le HST ne fait pas que de l'imagerie. Il fait aussi de la photométrie et de la spectroscopie. En principe la photométrie d'une étoile reste possible quelle que soit la forme de son image, du moment qu'il n'y ait pas superposition avec les images d'étoiles voisines. La spectroscopie aussi, mais là vient se greffer une contrainte supplémentaire. On sait qu'un spectrographe étale la lumière d'un astre selon ses différentes longueurs d'onde. Pour chaque longueur d'onde, se forme une image dont les dimensions sont affectées par l'aberration sphérique. On assiste donc à une dégradation de la résolution spatiale. Heureusement on peut limiter la dimension de l'image à l'entrée du spectrographe par un petit masque. Mais cela se fait au prix d'une perte de lumière. Supposons que l'on se limite au rayon de 0,1 seconde d'arc. Seuls passent 15% des photons. Il en résulte un allongement considérable des durées d'exposition (temps de pose).

En conclusion, le tableau n'est pas aussi sombre que l'on pouvait le craindre. Une bonne partie des programmes envisagés restent réalisables, certains d'entre eux demandant des durées d'expositions plus longues qu'originellement prévu. Le reste devra attendre quelque temps pour que l'équipement

approprié soit fixé au HST. Les plus optimistes des astronomes diront qu'il s'agit donc surtout d'une réorganisation chronologique des observations.

Les autres ennuis de Hubble

Le HST a connu d'autres misères, mais les a surmontées avec succès. La principale d'entre elles était une vibration dont l'origine était les panneaux solaires. L'expansion thermique de ceux-ci lorsque le satellite passait du jour à la nuit n'est pas uniforme et tend à induire une vibration d'une amplitude de 6 secondes d'arc. Et cela empêchait tout guidage précis pendant quelques minutes à chaque orbite. Une modification adéquate des logiciels de bord permettra de contrôler maintenant cette oscillation.

L'électronique de guidage, quant à elle, subit les effets néfastes des radiations corpusculaires de la ceinture de Van Allen. Celle-ci s'approche au plus près de la Terre dans la zone dite de la *South Atlantic Anomaly*, et les rayonnements y sont tels que l'électronique s'affole à chaque passage dans cette zone. A nouveau une modification de software apporte la solution.

Optique adaptative

Nous avons vu que, bien que situé hors de l'atmosphère, le Space Telescope reste loin en deçà des possibilités théoriques imposées par la diffraction à un instrument de 2m40 de diamètre. Ses performances ne dépassent guère celles d'un télescope terrestre de même taille. D'autre part, au sol, on tente de vaincre la turbulence atmosphérique qui constitue la cause essentielle de la dégradation des images. Contrairement à ce que l'on peut croire, cette dégradation n'est pas inéluctable. Des méthodes existent pour corriger cet effet. Il est d'ailleurs certain que l'US Air force, pour ses activités aérospatiales, a développé toute la technologie requise afin d'obtenir des images parfaites à grande distance. Ceci rappelle l'état de l'astronomie infrarouge qui en était encore à ses balbutiements, alors que les militaires possédaient des catalogues de sources détaillés (ces catalogues permettent de distinguer entre sources naturelles et sources

artificielles de chaleur, par exemple des missiles). Le bruit court que l'armée américaine pourrait bien « déclassifier », c'est-à-dire rendre publique, cette technologie, ou partie de celle-ci. Une aubaine pour les astronomes qui verraient la résolution de leurs télescopes faire un bond en avant?

Il faut tempérer cet enthousiasme par quelques considérations pratiques. La réalisation de grandes surfaces optiques précises est extrêmement délicate. Aussi les télescopes sont-ils rarement parfaits. Dans le jargon des opticiens on dit qu'ils ne sont pas « limités par la diffraction ». Ils sont réalisés dans le but de profiter des meilleures conditions d'images, soit quelque chose de l'ordre d'une demi-seconde d'arc. Cela veut dire que, même en envoyant ces télescopes dans l'espace pour éliminer la turbulence atmosphérique, les images ne descendraient pas sous cette taille, alors qu'un télescope parfait de deux mètres pourrait espérer dans le domaine visible des images d'un vingtième de seconde d'arc. Quant à un télescope de cinq mètres, il donnerait des images d'un cinquantième de seconde d'arc.

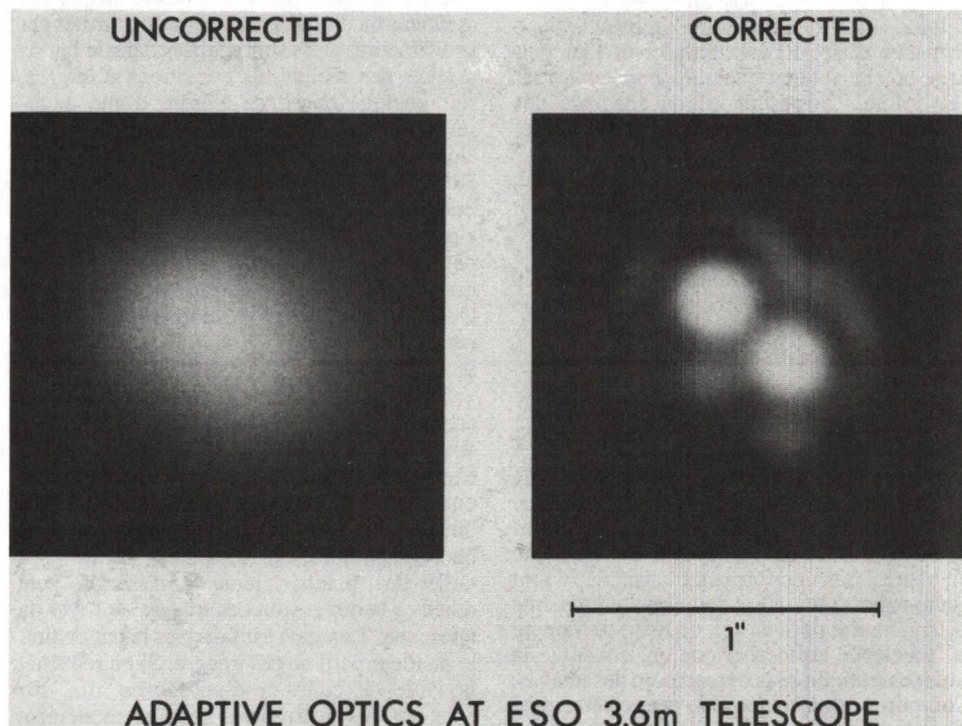
Et il n'y a pas que les télescopes qui soient adaptés à la turbulence. Les instruments auxiliaires en tiennent compte également. Par exemple les spectrographes ont des fentes, ou ouvertures, d'entrée correspondant à ces dimensions. Il en est de même des caméras photographiques, où la distance focale et la taille des pixels, éléments d'image, sont reliées à la dimension des images au foyer du télescope. Tout cela est fait dans le but de tirer le meilleur parti de ces images. Si on réduisait la taille de celles-ci d'un facteur dix, par exemple, les instruments seraient totalement inadaptés et inefficaces.

Il y a cependant des astronomes qui n'ont pas la patience d'attendre le bon vouloir des militaires, et qui travaillent avec succès à l'élaboration de systèmes d'optique adaptatives permettant d'améliorer les performances des *bons* télescopes, comme nous l'avons déjà vu (*Le Ciel*, décembre 1989, page 428). Leur dernière réalisation concerne le télescope de 3m60 de l'ESO.

Optique adaptative au télescope de 3m60 de l'ESO

C'est dans l'infrarouge qu'un système d'optique adaptative, le *VLT Adaptive Optics Prototype System*, a permis d'obtenir pendant de longues périodes des images atteignant la résolution théorique du télescope. Le 3m60 de l'ESO s'est donc comporté comme s'il était dans l'espace. La photo ci-dessous montre l'amélioration des images

dans le cas d'une étoile double serrée. L'étoile HR 6658, de magnitude 5,5 a été observée dans la bande infrarouge L située à 3,5 microns. A gauche l'image est celle obtenue sans correction. A droite elle est corrigée, et on peut voir le dédoublement en composantes séparées de 0,38 seconde d'arc. On aperçoit même les anneaux de diffraction qui démontrent bien que l'on approche la limite théorique du télescope.



L'étoile HR 6658 est dédoublée par l'optique adaptative au télescope de 3m60 de l'ESO. (Cliché European Southern Observatory)

Le diamètre des images a été réduit d'un facteur quatre, passant de 0,8 à 0,22 seconde d'arc, limite de diffraction du 3m60 à la longueur d'onde de 3,7 microns. La lumière est donc concentrée par un facteur 16, et l'efficacité du télescope est améliorée d'autant.

Des tests ont été faits dans d'autres bandes infrarouges. Des images de 0,18 secondes d'arc ont été observées dans la bande K (2,2

microns), ce qui constitue un record absolu. La limite théorique était là de 0,13 seconde.

Le système est basé sur un miroir déformable qui corrige par ses mouvements incessants les ondes lumineuses provenant du télescope. Pour savoir quelles déformations il faut appliquer, la lumière d'une étoile brillante est analysée. C'est naturellement un ordinateur qui contrôle tout cela. Il y a donc une

contrainte dans ce type d'observation: cela ne fonctionne que dans un champ relativement petit autour d'une étoile brillante. D'autre part les déformations devront être plus rapides et plus compliquées pour permettre de travailler à des longueurs d'onde plus courtes (bandes H à 1,65 microns et J à 1,2 micron). Ces développements devraient être réalisés vers la fin de 1991.

Comme le nom du système l'indique, cette instrumentation sert de prototype au super-télescope développé par l'ESO, le VLT de 16 mètres.

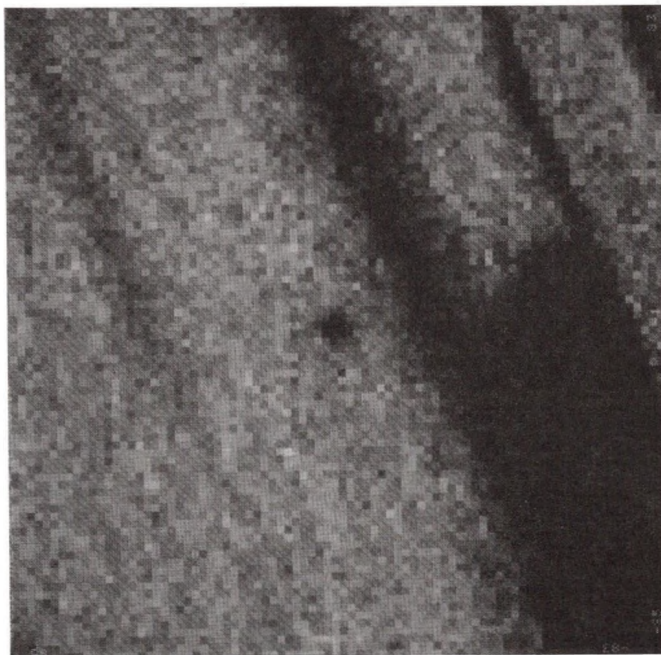
Dans l'orbite de la comète Austin

Le 5 juin 1990, la Terre traversait le plan de la comète Austin. C'est l'occasion d'observer la poussière éjectée récemment par le noyau. Cette poussière s'étale dans le plan de l'orbite

et forme comme une mince feuille qui est difficilement observable, à moins de se trouver dans son plan et de la voir par la tranche. On l'aperçoit alors comme une fine ligne lumineuse qui s'étend de part et d'autre de la comète, formant une queue (qui s'étend sur plus de deux degrés et demi sur le cliché présenté en couverture de ce bulletin) et une anti-queue (de 30 minutes).

La photo de couverture a été obtenue le 5 juin 1990 par Guido Pizarro, au télescope Schmidt de l'ESO, à La Silla (Chili). La comète se profile sur un champ très riche de la Voie Lactée, dans le Sagittaire. Les images des étoiles sont allongées car le guidage a été effectué pour suivre le mouvement rapide de la comète.

La comète de Halley



La comète de Halley à près de deux milliards de kilomètres de la Terre. (Cliché European Southern Observatory)

La célèbre comète s'éloigne de plus en plus du Soleil après son passage très remarqué de février 1986. Malgré sa grande distance, 1735 millions de kilomètres de la Terre, soit 11,6 unités astronomiques (et 12,5 unités astronomiques du Soleil), une série d'observations ont pu être faites à l'Observatoire Européen Austral. Le cliché ci-joint est le résultat de plus de seize heures de poses (non pas d'une seule traite, mais en 23 expositions) sur une caméra CCD au foyer du télescope danois de 1m50 de La Silla.

L'image de la comète, au centre, est ponctuelle. Les autres objets figurant sur le cliché sont les images d'étoiles et de galaxies, allongées par le guidage sur la comète. La magnitude moyenne de celle-ci était de 24,4, avec des variations d'une amplitude de 1,3 magnitude dues à la rotation du noyau. La comète apparaît pratiquement ponctuelle, sans trace évidente de coma, sauf peut-être une légère élongation dans la direction opposée au Soleil. Cette apparence, ainsi que le fait que la magnitude du noyau seul devrait plutôt approcher la valeur de 24,7, semblent indiquer une très petite activité résiduelle.

En 1989, alors que P/Halley se trouvait à 10,1 unités astronomiques du Soleil, il subsistait une coma bien plus importante. L'activité a donc pratiquement cessé à une distance du Soleil comprise entre 10 et 12,5 unités astronomiques du Soleil. P/Halley entre ainsi dans une période d'hibernation qui durera jusqu'aux environs de 2061, lorsqu'elle se rapprochera à 5 unités astronomiques de l'astre du jour.

Titan

Titan a toujours été un satellite énigmatique, recouvert d'une atmosphère opaque cachant à jamais sa surface à nos regards. Lors de son survol par la sonde Voyager 1 en 1980, les astronomes avaient pu formuler l'hypothèse qu'un océan d'hydrocarbures recouvrait la surface glacée de Titan.

Depuis lors, les observations terrestres ont pris le relais des ondes spatiales, et ce sont de puissantes ondes radios émises par l'antenne de 70 mètres du Jet Propulsion Laboratory (JPL/NASA) qui viennent de lever un coin du voile. Ces observations de type radar, où le récepteur est le Very Large Array (VLA,

réseau géant de 27 antennes situé au Nouveau Mexique), ont permis d'établir certaines caractéristiques de la surface du satellite de Saturne. Le type de réflexion subie par les ondes n'est pas « spéculaire », c'est-à-dire que la réflexion ne se fait pas comme sur un miroir. Or un liquide donne une réflexion spéculaire. Celle-ci est diffuse et ressemble beaucoup à celle que les ondes radars subissent sur les lunes glacées de Jupiter (Europe, Callisto, Ganymède). Les résultats posent cependant encore quelques problèmes. Ainsi l'émission propre de Titan dans les ondes centimétriques est bien plus élevée que celle des satellites joviens. Il semble cependant qu'il faille abandonner l'idée de l'océan de matière organique — et par la même occasion l'espoir d'y trouver l'une ou l'autre forme de vie.

Astéroïde double

On a souvent parlé d'observation d'astéroïdes doubles. Ces observations ne sont pas faites directement. L'astéroïde reste un simple point lumineux. C'est lors d'occultations d'étoiles que l'on a parfois remarqué une seconde diminution d'éclat, signe de la présence de deux corps. L'étude de la variation d'éclat lors de la rotation d'un astéroïde sur lui-même apporte aussi des indications sur sa forme. C'est ainsi que l'on pense que l'astéroïde Hector est fait de deux sphères accolées. Mais les conclusions ne sont pas toujours nettes, et les observations d'occultations n'ont pas toujours été concordantes. Rien ne remplace une image pour convaincre les astronomes qui regardaient encore l'existence d'astéroïdes doubles avec la plus grande prudence.

Ce n'est pas une image que de récentes observations radar ont pu fournir, mais c'est néanmoins une contribution importante à la question des astéroïdes doubles. Le radiotélescope géant d'Arecibo a étudié en détail l'astéroïde 1989 PB lorsqu'il « frôla » la Terre en 1989 (à onze fois la distance de la Lune). Il consiste en deux lobes séparés de moins de 100 mètres l'un de l'autre. Sont-ils en orbite ou constituent-ils un seul astre? Ce genre d'objet peut expliquer la présence de paires de cratères à la surface de la Lune et représente peut-être un premier stade dans la construction de corps plus importants par accréation.