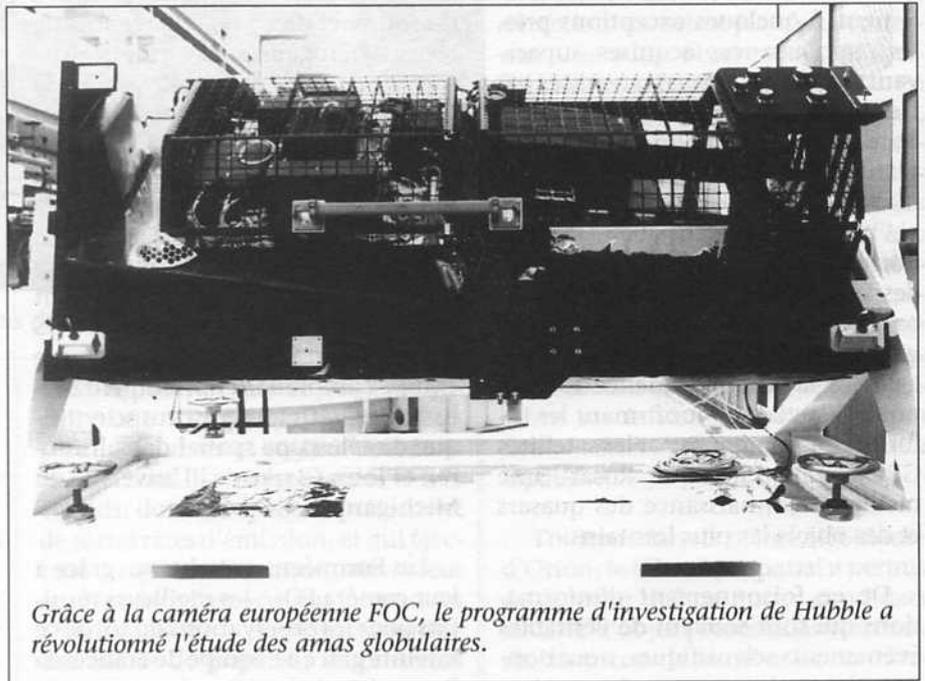


# Hubble : un myope qui voit loin !

*Après un peu plus de trois ans de fonctionnement en orbite, et en dépit de son défaut de courbure du miroir primaire, le télescope spatial Hubble présente un bilan scientifique plus que conséquent.*



Grâce à la caméra européenne FOC, le programme d'investigation de Hubble a révolutionné l'étude des amas globulaires.

Il convient de noter que l'aberration sphérique qui affecte ce miroir entraîne des conséquences différentes selon les instruments additifs et les disciplines d'études impliquées par le télescope spatial. Ainsi, jusqu'à présent, et si l'on juge les résultats au nombre de publications, il semble que la caméra américaine WFPC (caméra mixte planétaire grand champ) soit un peu moins affectée que la caméra européenne FOC (Faint Object Camera ou caméra à objets faibles). Toutefois, après la mission de décembre prochain, il est possible que les résultats de la caméra européenne FOC soient plus performants que ceux de la WFPC et devienne ainsi le pourvoyeur numéro 1 d'objets étonnants et inattendus pour l'ensemble de la mission. Il ne faut pas oublier, en effet, que si sa résolution angulaire n'est que partiellement affectée par les erreurs commises au sol chez le constructeur Perkin-Elmer, par contre la sensibilité du miroir primaire, estimée seulement à 17%

## Dominique Plantard

des spécifications initiales, entraîne des conséquences sur les capacités de cette caméra à détecter des objets à luminosité très faible, ou très lointains.

Les objectifs d'observation du télescope spatial ont quasiment été définis dès 1946, par le pionnier Lyman Spitzer, même si l'idée d'un « grand télescope spatial » naquit pour la première fois dans l'esprit d'Hermann Oberth. Lyman Spitzer avait identifié quatre objectifs principaux pour un tel instrument :

- étude de l'étendue et du volume de l'Univers visible par rapport à un grand télescope terrestre (dans le cas de Hubble, ce volume est multiplié d'un facteur d'environ 7) ;
- étude de la structure des galaxies ;
- étude de la structure des amas

- globulaires ;
- étude de la nature des autres planètes.

Dans les années 90, étant donné les progrès technologiques effectués par l'astrophysique et les résultats obtenus, ces questions se posent différemment et d'une façon plus complexe ou plus large au niveau des concepts. Cependant, l'approche suivie par Spitzer reste en gros toujours valable et seul l'ordre des priorités des observations à court terme a été modifié à cause des problèmes techniques dont nous avons parlé dans l'article précédent. Les « grands » programmes et les programmes « non prioritaires » ont été les plus touchés par ces adaptations, contrairement aux programmes d'étude planétaire et cométaire du système solaire. Comme le souligne Piero Benvenuti, un des responsables du programme Hubble à l'ESA : « *Hubble a transmis des vues saisissantes de Mars, Jupiter et son satellite Io, Saturne, Pluton avec des*

détails nouveaux que seules des sondes spatiales explorant sur place auraient pu révéler autrement ».

A part la cosmologie, dont le programme Hubble ne redémarrera pas avant la fin de l'hiver 1994, chaque discipline impliquée par l'ambitieux programme américain a reçu inégalement son lot d'images et d'informations. Sans bouleverser fondamentalement, à quelques exceptions près, les connaissances acquises auparavant, les informations transmises par Hubble ont permis d'avancer dans beaucoup de disciplines comme la planétologie, la mise en évidence de la formation d'étoiles au sein de nuages moléculaires dans et *en dehors* de notre Galaxie, l'étude des « résidus » des supernovae, celle des amas globulaires galactiques et *extra-galactiques*, la résolution de la structure des galaxies, la mise en évidence de trous noirs galactiques (confirmant les informations obtenues par les satellites GRO, Granat/Sigma et Rosat), une meilleure connaissance des quasars et des objets les plus lointains.

De ce foisonnement d'informations qui sont souvent de véritables événements scientifiques, nous donnons ici quelques exemples particulièrement significatifs.

## La planétologie

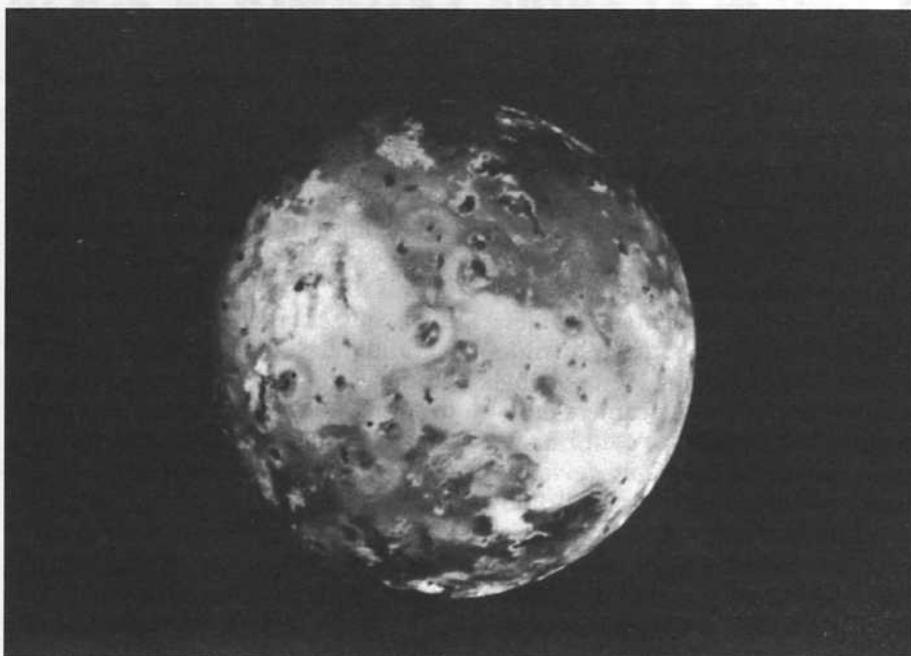
Comme le dit Piero Benvenuti : « Le télescope spatial peut suivre la progression des phénomènes variables dans le temps et instaurer une surveillance quasi-météorologique du système solaire ». Cette surveillance s'est notamment étendue aux grandes tempêtes de sable martiennes (dont la vitesse dépasse parfois les 200 km/h), et à l'évolution de la Grande tache rouge de l'atmosphère de Jupiter. La caméra FOC a pu donner des clichés inégalés des aurores de Jupiter, créées par l'interaction du puissant champ magnétique de la planète avec sa haute atmosphère. En 1990, la caméra WFPC donnait des images d'une violente tempête dans l'atmosphère de Saturne.

Mais, le résultat le plus impressionnant vient de l'étude des effets des interactions entre la forte gravité de Jupiter et le volcanisme spécifique de son satellite Io. Un travail exceptionnel a été réalisé par plusieurs équipes américaines et européennes et a confirmé que Io — comme le laissaient penser les survols de Voyager 1 de 1979, et Ulysse de 1992 — possède une atmosphère ténue où l'on trouve du soufre et de l'oxygène répartis de façon hétérogène, sous forme de plasma affecté par la magnétosphère de Jupiter. Ces gaz, majoritairement ionisés, sont dus essentiellement au volcanisme impressionnant de Io, induit par la gravité de Jupiter, assez forte pour créer des fractures dans l'écorce de son satellite. Dans le cadre du programme Hubble, ces gaz ont été observés avec l'instrument FOS (Faint Object Spectrograph), par une équipe comprenant notamment Melissa Mc Grath (de l'Institut scientifique du télescope spatial de Baltimore), et John Clarke de l'Université du Michigan.

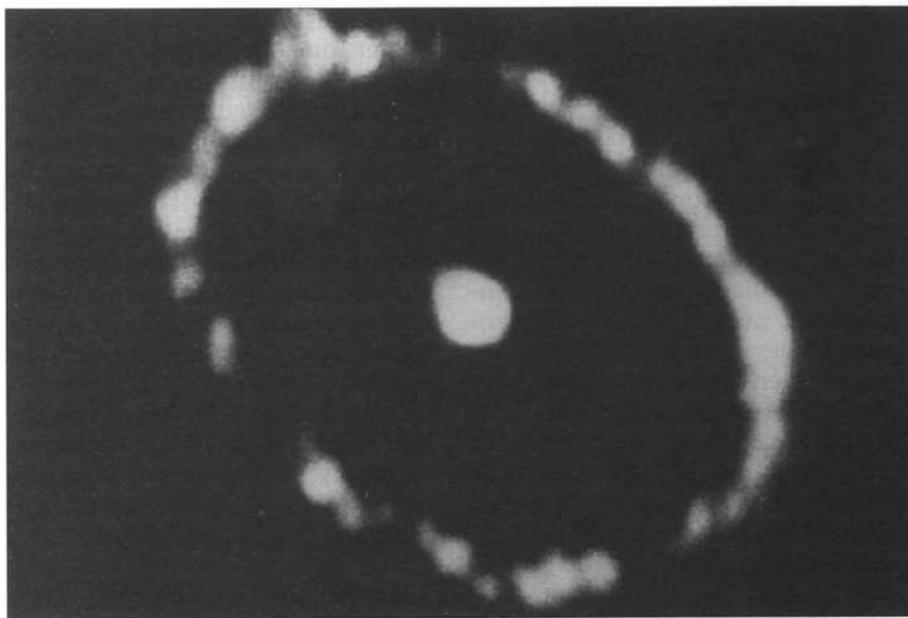
Les Européens ont obtenu, grâce à leur caméra FOC, les meilleurs résultats pour les observations du sol de ce satellite grâce à l'équipe de Francesco Paresi (astrophysicien faisant partie de la quinzaine de scientifiques déta-

chés par l'ESA auprès de l'Institut scientifique du télescope spatial), et Paola Sartoretti de l'Université de Padoue. Ces travaux ont montré que Io possède une surface majoritairement recouverte de givre de dioxyde de soufre, ce qui a pour conséquence que l'observation de Io, à la fois en lumière visible et en lumière ultraviolette, se révèle apparemment contradictoire. Alors que certaines régions apparaissent extrêmement brillantes en lumière visible, elles apparaissent au contraire très sombres en UV, plage de longueurs d'onde facilement absorbée par le dioxyde de soufre.

Curieusement la comparaison des images prises en 1979 par Voyager 1 et de celles prises en visible par la FOC montre que, malgré une certaine forme de géologie active permanente, il n'y a rien eu de fondamentalement changé sur une période de 12 à 13 ans, excepté pour deux petites régions accidentées. L'hypothèse émise par les scientifiques de l'ESA est qu'il existerait sur Io un « mécanisme de compensation inconnu » tendant à disperser les débris issus de son volcanisme si particulier, ce qui explique que l'ESA et la Nasa aient décidé pour les années à venir de mettre Io sous surveillance.



Le satellite de Jupiter, Io, dont les activités volcaniques ont pu être étudiées grâce à la caméra WFPC.



Anneau de poussières et de gaz, résidus de l'explosion de la supernova 1987-A

## L'étude des supernovæ

Les supernovæ sont des processus cataclysmiques éruptifs correspondant à la phase finale de la vie d'une étoile relativement massive. Pour l'instant, le télescope spatial a surtout permis d'utiliser la caméra FOC pour observer la « Dentelle du Cygne » (résidu d'une explosion qui s'est produite il y a environ 15.000 ans), et permettre aux astrophysiciens européens Macchetto, Panagia et Jakobsen d'essayer de comprendre ce qui s'est exactement passé il y a environ 175.000 ans avec l'explosion de la fameuse supernova 1987-A. Celle-ci nous est apparue précisément en 1987 et son étoile génitrice est située à 169.000 années-lumière dans le Grand Nuage de Magellan, une petite galaxie satellite de la nôtre et visible seulement dans l'hémisphère Sud.

La caméra FOC a montré que 1987-A était entourée d'une « coquille » de matériel stellaire qui semble avoir été éjecté bien avant l'explosion détectée il y a six ans. Cette coquille, dont l'existence avait été déjà pressentie grâce aux travaux du satellite IUE, présente quelques analogies avec la source Cassiopée-A (détectée en imagerie X mais pas en visible), et tend à faire penser que l'étoile génitrice de

1987-A pourrait être ce que l'on appelle une « étoile de Wolf-Rayet » (WR). Découvertes en 1867, ces étoiles WR sont des astres massifs et très chauds, dont les spectres présentent de fortes raies d'émission, et qui éjectent en quantités « anormales » leur matière dans l'espace sous forme d'un « vent stellaire » pouvant atteindre des ordres de grandeur de plusieurs centaines de millions de fois supérieurs à celui de la majorité des étoiles se situant sur la séquence principale du diagramme de Hertzsprung-Russell.

## La formation d'étoiles

On sait depuis longtemps que les étoiles naissent par contraction gravitationnelle au sein de nuages moléculaires complexes contenant également des poussières de silicates et de graphite. Mais ce type d'études, à partir de l'espace, a été jusqu'à présent effectué par des satellites travaillant en infrarouge.

Tirant parti des possibilités offertes par la caméra WFPC en mode « chambre planétaire à haute résolution », l'équipe de l'américain Schwartz a réussi à visualiser et photographier le processus violent qui caractérise l'allumage d'une proto-étoile au sein d'un tel nuage dénom-

mé « Objet de Herbig-Haro » numéro 2 ou « HH2 » situé dans la célèbre et riche en nuages « Nébuleuse d'Orion ». Cet objet se caractérise par l'émission de violents jets d'hydrogène ionisé « symétriques, étroits et rectilignes » révélateurs des phénomènes se déroulant à l'intérieur de ce véritable cocon géniteur.

Il est intéressant de signaler que la détection de cet objet vient confirmer une autre observation, déjà effectuée avec le télescope spatial en janvier 1991, et qui avait fait l'objet, dans *Astrophysical Journal*, d'une communication de Jeff Hester du Caltech/IPAC : « (...) « l'existence de ces jets « rectilignes » tend à relancer l'idée selon laquelle il faut envisager la probabilité de la formation de champs électriques et magnétiques au sein du disque d'accrétion se formant autour de la jeune étoile. Ces champs magnétiques agiraient sur le violent vent stellaire en formant deux jets de gaz symétriques en expansion. »

Toujours dans la même Nébuleuse d'Orion, le télescope spatial a permis de détecter quinze autres candidats au titre d'objet protostellaire entourés du cocon de matière en contraction gravitationnelle et ayant permis leur formation !

Plus étonnant encore, le télescope Hubble a permis de résoudre un mystère, tout en mettant en évidence un phénomène identique à celui de l'exemple précédent dans le Grand Nuage de Magellan. Il existe en effet, dans cette petite galaxie, un curieux « objet » dénommé « 30 Doradus » que certains astrophysiciens (Cassinelli, Savage et Mathis) pensaient, il y a encore moins de 10 ans, être tout simplement une « étoile géante anormalement grande ». D'autres observations ultérieures suggéraient plutôt une « association d'étoiles très proches les unes des autres ». Il aura fallu attendre 1992 pour que le télescope Hubble démontre définitivement que « 30 Doradus » n'était en fait qu'une association de jeunes étoiles en formation dégageant un fort excès d'infrarouge et impossibles à résoudre optiquement et individuellement à partir d'un grand télescope terrestre.

## Les amas globulaires

C'est un domaine dans lequel les caméras FOC et WFPC ont apporté une véritable révolution ! Nous avons déjà parlé dans ce même magazine<sup>1</sup> des découvertes que la caméra FOC a permises au sein des amas globulaires de notre Galaxie. En effet, en 1991, les astrophysiciens de l'ESA Georges Meylan et F. Paresce, associés à l'américain Shara, ont détecté au sein de l'amas globulaire 47 Tucanae (qui rassemble plusieurs dizaines de milliers d'étoiles) des étoiles à la « traîne » inattendues issues de processus violents de collision et de capture entre deux vieilles étoiles. Ces dernières voient ainsi leurs anciens processus de nucléosynthèse rallumés, présentant alors, faussement, le spectre d'étoiles bleues relativement jeunes. Cette découverte vient confirmer une hypothèse émise auparavant par Hoyle et Mac Crea.

Toutefois, on a fait mieux depuis avec la caméra américaine WFPC en détectant, dans une autre galaxie, un type spécifique d'amas globulaire inconnu et inattendu. En 1992, pointant la WFPC sur la grande galaxie NGC 1275 située à 200 millions d'années-lumière de notre Galaxie, une équipe américaine dirigée par Jon Holtzman a eu la surprise d'y découvrir de « bien curieux amas ». Ordinairement les amas globulaires, considérés comme les structures les plus anciennes de la Galaxie, se situent plutôt sur les parties externes galactiques, très loin du noyau, mais dans le cas de NGC 1275, non seulement on ne retrouve pas cette disposition géographique habituelle des amas globulaires, mais encore ceux qui y ont été détectés sont majoritairement composés de *jeunes étoiles*. Il est probable que ces amas globulaires inattendus sont issus d'un processus cataclysmique à grande échelle ayant éjecté de grandes quantités de matière vers les parties extérieures de NGC 1275.

1. Philippe Jamet, « Les objets impossibles », *Fusion*, N° 44, janvier 1993.

## Les trous noirs

L'utilisation de la WFPC a mis en évidence, de façon indirecte, l'existence de trous noirs massifs au centre de galaxies comme 4C41-17 (radio-galaxie la plus distante que nous connaissions, située à 10 milliards d'années-lumière), et de façon directe, par examen de densités anormales d'étoiles en leur centre comme au sein de M32 (galaxie satellite de M31 Andromède), de M51 des Chiens de Chasse, et de la galaxie elliptique géante M87, située à 52 millions d'années-lumière dans l'amas de Virgo.

Selon les astrophysiciens américains Tod Lauer, Roger Lyns et Sandra M. Faber, co-investigateurs sur la caméra planétaire grand champ, il existerait au sein de M87 une densité centrale d'étoiles supérieure en nombre, de l'ordre de 300 fois, à ce que l'on détecte dans une galaxie du même type. La vitesse incroyable de cette concentration d'étoiles ne laisse aucun doute sur la réalité d'un trou noir massif en son centre.

A tout ceci, il faudrait également ajouter l'étude des effets de lentilles gravitationnelles et de la courbure de la lumière subie par les quasars lointains lorsque cette lumière, lors de son long parcours, subit les effets des champs gravitationnels massifs de galaxies situées plus près de nous (cas du quasar 1208 + 101 étudié par la WFPC et l'équipe de Peter Stockman), l'étude des nuages d'hydrogène de ces quasars eux-mêmes (avec les spectrographes FOS et HRS), et bien d'autres domaines.

A très court terme, une des conséquences les plus positives du programme Hubble est d'avoir d'ores et déjà permis une meilleure mesure des distances de l'Univers en utilisant les « indicateurs secondaires » que sont les « Céphéides bleues ». Ces céphéides sont des étoiles particulièrement brillantes, découvertes en 1912 par l'astrophysicienne américaine Leavitt, qui ont pour caractéristique de posséder une brillance variant périodiquement. Des études

ultérieures ont démontré qu'il y avait un lien, du point de vue des écarts de température, entre les étapes minima et maxima de leur brillance et leur luminosité intrinsèque, ce qui a donné l'idée à certains astrophysiciens d'utiliser ces céphéides bleues comme « indicateurs secondaires » des distances stellaires dès lors que d'autres méthodes (parallaxe, point de convergence) deviennent moins fiables avec l'allongement des distances. Les caractéristiques, désormais bien connues des céphéides, permettent en effet de déduire des distances éloignées en procédant, pour des objets du même type, à des comparaisons de variations d'éclat.

En 1992, l'utilisation de la WFPC par Dulcio Macchetto et Nino Panagia (astrophysiciens de l'ESA intégrés à l'Institut scientifique du télescope spatial à Baltimore), associés aux américains Saha et Sandage et au suisse Tammann, a permis l'observation de 27 de ces céphéides variables dans la galaxie spirale IC4182, située à 16 millions d'années-lumière, et la galaxie M101 située à 23 millions d'années-lumière.

On sait que lors de la prochaine mission du mois de décembre, la WFPC sera remplacée par un modèle plus perfectionné, doté de son propre système correcteur. Celui-ci sera utilisé pour tenter de détecter des céphéides bleues variables dans les quelques centaines de galaxies qui constituent l'amas de Virgo situé à environ 60 millions d'années-lumière. On espère, à la suite de cela, ramener à environ 10% « l'indice d'imprécision des distances extra-galactiques moyennes » qui se situe pourtant aujourd'hui plus près de 30% dès que l'on essaie de sortir du Groupe Local de galaxies, auquel appartient notre Galaxie en compagnie d'une trentaine d'autres.

On peut prédire un bel avenir à Hubble et se féliciter de la compétence qu'on a démontré les astrophysiciens européens. Comme le souligne Roger-Maurice Bonnet, directeur des programmes scientifiques de l'ESA : « (...) jusqu'à présent 20% du temps disponible d'expériences a été accordé à des équipes européennes ». ■