

Le Hubble Space Telescope

Problèmes et solutions

A la fin de cette année le Hubble Space Telescope devrait enfin recevoir la visite d'entretien et de réparation qui devrait lui assurer un avenir meilleur et lui éclaircir la vue. Tout le monde se souvient de l'énorme bévue réalisée lors du polissage du miroir principal de 2m40 de diamètre : un test fautif avait laissé croire que l'optique était parfaite alors qu'une importante aberration de sphéricité était bien présente.

D'autres problèmes ont surgi depuis, et il est devenu essentiel pour l'équipe du HST de rénover totalement cet instrument au potentiel si formidable, mais malheureusement encore mal exploité.

Nous faisons le point sur ces difficultés, ce qui nous donne l'occasion de rappeler quelques aspects de l'optique astronomique.

L'aberration de sphéricité

Ce type de défaut se manifeste assez souvent lors du polissage d'un miroir. Les amateurs qui construisent eux-mêmes leur télescope sont familiers du phénomène. C'est d'ailleurs cette aberration qui est directement mesurée par un test bien connu des observateurs, celui de Foucault (proposé dès 1870 par Léon Foucault, l'homme du pendule... fort à l'honneur en ce moment dans les activités de la SAL).

En principe, l'image que donne un télescope d'une source ponctuelle devrait, elle aussi, être ponctuelle. Tout ce qui va à l'encontre de cette perfection peut être qualifié d'aberration optique. Par exemple, une lentille simple ne concentre pas au même point les rayons lumineux de couleurs différentes. L'image d'une source ponctuelle est d'autant plus étalée qu'elle est composée de couleurs diverses. C'est ce qu'on appelle l'aberration *chromatique* (du mot grec pour « couleur »). Un miroir ou une lentille mal taillée, asymétrique, donnera de l'*astigmatisme* (« non ponctuel »). Ce défaut est souvent présent dans les yeux, si pour

une raison ou l'autre la courbure de l'œil n'est pas bien symétrique. Les personnes affectées de ce défaut savent combien l'image d'un point — par exemple d'une étoile ou d'une planète — peut être déformée.

L'aberration de *sphéricité* résulte, quant à elle, du fait que les rayons lumineux réfléchis au centre ou plus ou moins près des bords d'un miroir ne sont pas concentrés en un même point. Prenons l'exemple le plus simple, celui de la sphère — qui a valu son nom à ce défaut. Il est évident que l'image d'une source ponctuelle située au centre de la sphère sera ce même centre, tous les rayons étant réfléchis sur eux-mêmes (ils sont effectivement « rayons », au sens géométrique, de la sphère). Ecartons un peu la source du centre de la sphère, et l'image cesse d'être ponctuelle. Si le déplacement est très faible, on pourra considérer que l'image reste un point, et est située en un lieu symétrique de la source par rapport au centre de la sphère.

Si l'on s'écarte très loin du centre — allons même jusqu'à placer la source à l'infini pour nous mettre dans le cas usuel de l'astronomie —, l'image se forme à peu près à mi-chemin entre le centre et le miroir. C'est le foyer du miroir astronomique. Mais l'image ne sera belle que si le miroir n'est pas très ouvert, c'est-à-dire si l'angle qu'il sous-tend à partir du centre de courbure est petit. Il faut pour cela que les dimensions du miroir soient faibles vis-à-vis de son rayon de courbure.

On sait que pour obtenir une belle image d'une étoile il faut un miroir parabolique. La Figure 1 montre les différences entre cercle, parabole, hyperbole et ellipse, figures géométriques que l'on regroupe sous l'appellation de « coniques ». Toutes ces courbes se ressemblent très fort là où elles sont tangentes, au voisinage de l'axe. Les mathématiciens auront remarqué que les courbes représentées ici sont plus que tangentes entre elles, elles sont

« osculatrices », ce qui veut dire qu'elles ont localement la même courbure — des tangentes se touchent simplement sans se traverser.

Imaginons maintenant que ces courbes soient les sections de miroirs ayant une symétrie de révolution autour de l'axe. Imaginons aussi que l'on utilise ces miroirs pour former l'image d'une étoile située à droite (à l'infini) dans la direction de l'axe. On comprend aisément que les rayons provenant de l'étoile et qui sont très voisins de l'axe seront réfléchis de la même façon par tous les miroirs, puisque les formes de ceux-ci sont pratiquement identiques. Lorsque l'on considère des rayons plus éloignés de l'axe, il en va tout autrement. La différence entre la forme exacte d'un cercle et celle des autres coniques augmente très vite, et seule la forme parabolique supprime exactement l'aberration de sphéricité. On conclut donc que dans le cas d'une parabole le diamètre du miroir (entendons ici le diamètre de l'objet) n'a plus besoin d'être très petit par rapport au diamètre de la sphère osculatrice.

en toute position, ce qui ne peut être le cas que pour une sphère (y compris le cas particulier du plan qui n'est qu'une sphère de diamètre infini). En effet, seule la sphère possède la même courbure en tous ses points. Une fois la sphère obtenue, il faut appliquer des corrections locales pour créer cette déviation essentielle qui donnera une parabole.

L'astucieuse méthode de Foucault permet très simplement de vérifier que l'on a obtenu un miroir sphérique. Considérons la Figure 2. Une source lumineuse est placée très près du centre de courbure du miroir. Si le miroir est parfaitement sphérique, l'image sera un point très près également du centre. (On ne place pas la source exactement au centre pour que l'œil puisse accéder à l'image.) Le principe du *foucaultage* consiste à couper les rayons réfléchis avec un couteau à bord net. Si, comme dans le cas C, le couteau entame le faisceau lumineux exactement sur l'image, et que celle-ci est ponctuelle (miroir parfait), l'observateur verra le miroir d'abord uniformément éclairé, puis complètement sombre, avec une transition brusque lorsque le couteau s'avance. Les cas A et B montrent ce qui se passe lorsque le couteau est en avant ou en arrière de l'image. L'extinction du miroir n'est plus uniforme. Si le miroir n'est pas sphérique (cas D), son aspect ne manquera pas de le trahir.

On comprend aisément que la méthode de Foucault donne des résultats identiques à ceux décrits ci-dessus quel que soit le type de miroir, du moment que la source et l'image sont ponctuelles. Si le miroir est parabolique, la source doit être à l'infini pour satisfaire cette condition. On peut naturellement prendre une étoile et pratiquer le test avec le miroir monté dans un télescope. Ceci n'est guère pratique lorsque l'on est en train de polir le miroir. Il vaut mieux un test en chambre. Le problème est alors de simuler une source à l'infini. C'est possible, mais avec des moyens assez complexes généralement hors de portée des amateurs. Faute de cela, on utilise une autre astuce qui consiste à mesurer l'amplitude de la fameuse aberration de sphéricité. Prenons le cas d'un miroir parabolique. On place la source au centre de la sphère osculatrice. Le test de Foucault décrit ci-dessus donnerait les mêmes résultats qu'à la Figure 2 (A-C) si l'écart à la sphère était négligeable.

Que font les astronomes amateurs lorsqu'ils taillent leur miroir? Ils obtiennent souvent d'emblée une forme sphérique car le procédé habituel de polissage — qui consiste à frotter un outil sur le disque de verre — tend naturellement à donner deux formes superposables



Si la forme du miroir diffère de façon sensible de la sphère parfaite, l'image de la source ponctuelle ne sera pas « stigmatique » (ponctuelle). Elle aura une forme complexe en « pavillon de trompette », comme le montre le croquis de la Figure 3.

Lorsque le couteau coupe une image étendue, il doit bien le faire progressivement : il recouvre successivement des faisceaux de rayons provenant de zones différentes du miroir. On n'assiste donc jamais à l'extinction uniforme du miroir, quelle que soit la position du couteau. On obtient les aspects présentés à la Figure 5 en fonction de l'endroit exact où le couteau est situé. Il s'agit donc de noter avec précision les positions du couteau donnant les aspects A, B et C et de les comparer avec le calcul théorique, pour savoir si le miroir s'écarte suffisamment de la sphère, s'il présente donc l'aberration sphérique correcte, et s'il a bien atteint la forme parabolique recherchée. Pour un miroir de 20 cm de diamètre, ouvert à $f/8$ (rayon de courbure de $2 \times 8 \times 20 = 320$ cm), on peut calculer que la position du couteau donnant l'aspect C est plus éloignée de 3 mm environ du miroir que celle donnant l'aspect A. On peut faire naturellement une étude très minutieuse, en retenant un plus grand nombre de positions et en compa-

rant l'aspect théorique avec celui observé. Ceci est facilité par l'utilisation d'un masque muni de petites fenêtres judicieusement disposées (voir Figure 4). Il suffit alors de noter les positions pour lesquelles les fenêtres situées symétriquement s'éteignent simultanément (idée due au grand opticien G.W. Ritchey).

Dans l'exemple cité, comme pour la plupart des cas pratiques, l'écart maximal à la sphère est extrêmement petit. Il est souvent mesuré en prenant pour unité la longueur d'onde de la lumière (de l'ordre du demi-micron, soit le demi-millième de millimètre). C'est dire la finesse qu'atteint le test de Foucault puisqu'il convertit en millimètres et rend tout à fait observables des défauts aussi petits.

Tout ceci semble nous éloigner du Hubble Space Telescope. Mais il n'en est rien. Supposons que le masque utilisé pour un Foucaultage soit incorrect, ou que les valeurs des positions théoriques du couteau aient été mal calculées. Que se passerait-il? L'opticien taillerait un miroir apparemment parfait, au poli superbe, et approchant la surface théorique à moins de quelques centièmes de micron. Malheureusement la surface de référence serait fautive, et le miroir ne donnerait pas du tout les résultats escomptés lors de son utilisation sur le ciel. C'est, en gros, le genre d'erreur qui a eu lieu pour le miroir du Hubble Space Telescope.

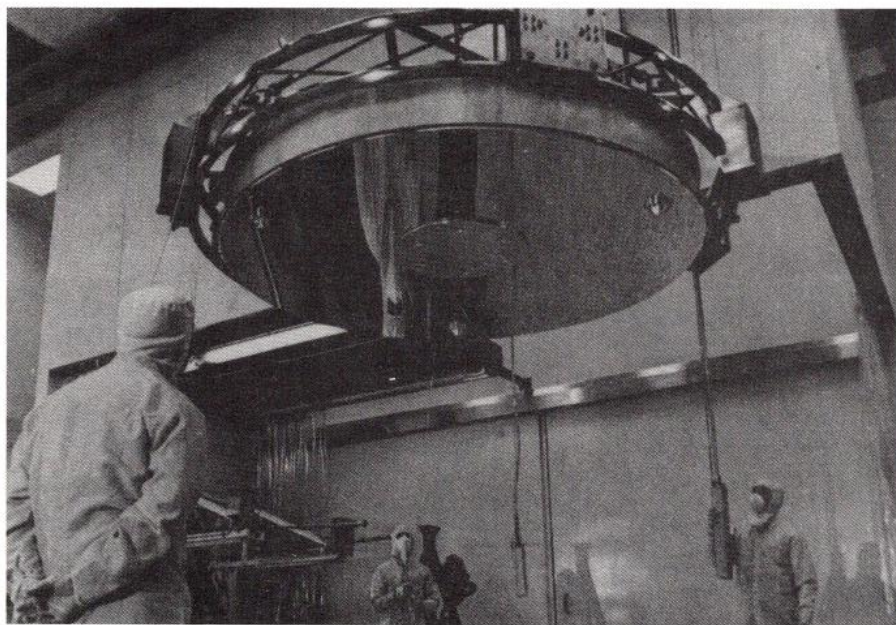


Figure 6. — Les techniciens qui examinaient le miroir du HST bien avant la mise en orbite ne se doutaient pas qu'il était si mal taillé. Leur souci principal était d'éviter le dépôt de poussières.

Le miroir du Hubble Space Telescope

Les opticiens utilisent maintenant des méthodes autres que celle de Foucault pour vérifier la progression du polissage d'une pièce optique. Cela leur donne plus de précision, mais au prix d'une complexité accrue — et donc d'un plus grand risque d'erreur accidentelle.

Plus encore que pour un simple miroir d'amateur, on comprend facilement que l'on renonce à effectuer les tests en conditions « réelles », c'est-à-dire sur le ciel, tout au long de la procédure de polissage. On peut faire appel à des « étoiles artificielles » qui créent une image à l'infini, ou en tout cas à un procédé donnant un faisceau lumineux plus simple à analyser que celui produit par une source proche — affecté d'une forte aberration de

sphéricité. Si l'on reprend le cas du focaillage, il est plus simple de vérifier l'extinction uniforme d'un miroir, que de comparer successivement une série de petites plages. Pour corriger de la sorte le faisceau, on peut lui faire traverser une pièce optique appropriée. Il faut que celle-ci soit parfaitement calculée et réalisée.

Les procédés modernes font souvent appel à des interféromètres qui produisent des franges lumineuses. Normalement, lorsque le correcteur optique adéquat est inséré dans le trajet des rayons lumineux, l'« interférogramme » montre de belles franges rectilignes et parallèles, toute distorsion trahissant une déformation anormale du miroir — ou un défaut du correcteur. Si ce dernier cas se présente, et que les opticiens ont confiance dans la validité du correcteur, ils poliront le miroir de façon à rétablir de belles franges interférométriques.

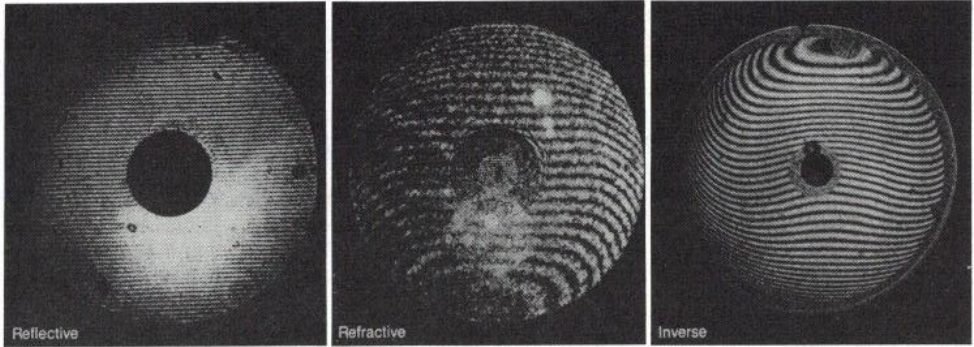


Figure 7. — Interférogrammes de contrôle du miroir du télescope Hubble. Celui de gauche, le seul retenu pour la décision finale, est impeccable.

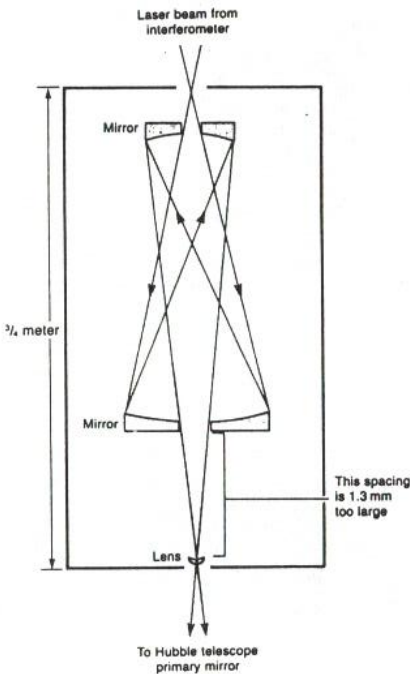


Figure 8. — Schéma du correcteur optique fautif utilisé pour tester le miroir du HST. L'erreur concerne la dimension indiquée comme étant trop courte de 1,3 mm.

Mais ce qu'ils auront réussi, c'est tout simplement contrebalancer les défauts du correcteur par un défaut du miroir. C'est exactement cela qui s'est passé pour le miroir de 2m40 du HST, une erreur qualifiée par Robert Shannon, directeur de l'Optical Sciences Center de l'Université de l'Arizona, comme étant « la plus grossière jamais faite en optique ».

De fait, l'interférogramme reproduit à gauche de la Figure 7 est parfait, avec des franges bien droites, équidistantes. Il est obtenu avec le correcteur optique schématisé à la Figure 8, correcteur qui, par suite de hasards malheureux et d'une certaine part de négligence, avait été modifié de façon catastrophique. Les plans originaux du correcteur ne demandaient pas l'introduction de l'épaisseur additionnelle de 1,3 mm. Cette modification a été apportée après un réglage faussé par un reflet parasite.

Ironie du sort, d'autres correcteurs, conçus de façon différente, montraient clairement la présence d'une importante aberration par des franges irrégulières (Figure 7 au centre et à droite). Mais ces correcteurs étaient en principe moins précis, et l'on ne leur a guère fait confiance.

C'est ainsi que depuis 1981, un mauvais miroir était l'objet de toutes les attentions pour lui conserver sa belle apparence en attendant

d'être installé dans le HST. La navette qui a déployé le Space Telescope dans l'espace ne s'est envolée qu'en 1990...

La forme théorique du miroir n'est pas celle, parabolique, utilisée principalement par les amateurs dans des télescopes de type Newton et ne donnant qu'un champ de netteté extrêmement réduit, mais bien hyperbolique (voir Figure 1). Le type de télescope est dit de Ritchey-Chrétien et assure un champ plus étendu. L'erreur constatée entre la forme réelle et la forme théorique est au maximum de deux microns, soit le cinquantième de l'épaisseur d'un cheveu, ou quatre fois la longueur d'onde (λ) de la lumière visible. Cela suffit à dégrader les images. Le polissage, quant à lui, a été réalisé de façon très soignée, ne tolérant que des défauts de $\lambda/64$. Comme comparaison,

rappelons qu'en général les amateurs se contentent de $\lambda/8$, et qu'en règle générale les instruments du commerce sont beaucoup moins bons.

Le télescope n'est pas constitué d'un seul miroir. La combinaison Ritchey-Chrétien fait appel à un miroir secondaire renvoyant la lumière vers un trou aménagé dans le grand miroir et derrière lequel se trouve l'instrumentation scientifique (Figure 9). Le miroir secondaire est elliptique et ne mesure que 34 cm de diamètre. Lorsque l'on a constaté le défaut optique du télescope, il n'était pas évident de décider lequel des miroirs était le coupable. On a cependant assez vite réalisé que le petit miroir était irréprochable, à la grande satisfaction des opticiens car un défaut à ce niveau aurait été difficile à corriger.

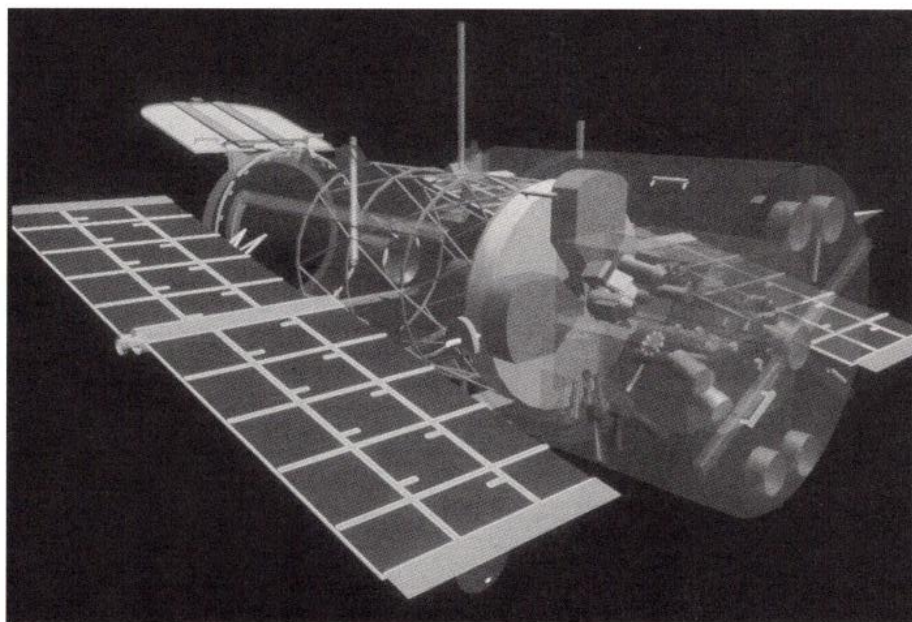


Figure 9. — Schéma en transparence du Hubble Space Telescope. La combinaison optique est du type Ritchey-Chrétien. Le miroir primaire a 2m40 de diamètre. Les instruments scientifiques sont répartis près du trou aménagé dans le primaire. (Crédit NASA)

Comment corriger l'optique

Il fallait absolument faire quelque chose pour rendre opérationnel le Hubble Space Telescope et retirer des résultats positifs de cet investissement de cinquante milliards de francs. Nos lecteurs ont vu à maintes reprises que des données de qualité ont pu malgré tout être produites, et cela a déjà permis de belles découvertes. L'effet principal de l'aberration est de diminuer d'un facteur 5 l'efficacité de l'instrument. L'image d'une étoile se caractérise par un pic ayant à peu près la résolution théorique d'un instrument de 2m40 (environ 0,07 seconde d'arc), mais ce pic ne concentre que quinze pour cent de la lumière (au lieu des 70 pour cent, ou plus, espérés). Le reste est éparpillé en un disque de plus d'une seconde d'arc de diamètre (Figure 10).

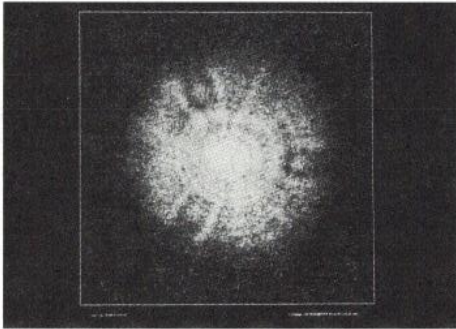


Figure 10. — L'image d'une étoile, au lieu d'être bien piquée, est entourée d'une tache lumineuse de plus d'une seconde d'arc de diamètre, due à l'aberration de sphéricité du miroir principal. Malgré cela, 15 % de la lumière sont concentrés dans un pic de 0,07 seconde d'arc, ce qui permet dans certains cas de profiter de la résolution théorique du télescope.

La présence du pic permet donc de réaliser la résolution nominale du télescope, au prix d'un fond lumineux plus important que prévu et, naturellement, de temps de pose plus longs. Et cela sans traitement particulier des images par ordinateur. Un tel traitement peut apporter une amélioration sensible surtout dans des circonstances où le fond lumineux devient

prohibitif. C'est le cas d'objets étendus, amis d'étoiles, nébuleuses, planètes, etc., car la lumière parasite étalée par plusieurs sources proches se superpose pour créer un fond très brillant d'où il est difficile de distinguer de fins détails par manque de contraste.

Plusieurs solutions sont possibles pour régler ou minimiser le problème de l'aberration. Toutes font appel à une visite par une navette spatiale. La plus évidente, mais la plus coûteuse en temps et en argent est bien sûr de remplacer purement et simplement le grand miroir. Cela demanderait de ramener sur Terre le HST et de le renvoyer dans l'espace après réparation. Peu pratique et pleine de risques, cette idée n'a guère tenu la route. En fait il serait aussi facile de reconstruire un tout nouveau télescope... Au total les experts ont probablement envisagé entre vingt et trente scénarios différents, allant du plus discret (suivre la procédure prévue d'entretien du HST pour remplacer progressivement les instruments par des versions s'accommodant de l'aberration optique) au plus spectaculaire (un astronaute s'introduirait dans le tube du télescope pour remplacer le secondaire de 34 cm par un miroir corrigeant l'aberration).

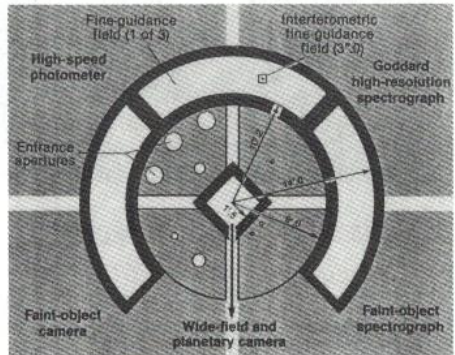


Figure 11. — Carte des instruments dans le plan focal du HST. Outre les appareils scientifiques (deux spectromètres, deux caméras et un photomètre), se trouvent également les zones utilisées pour guider le télescope.

Pour comprendre la solution retenue par les experts, il faut d'abord passer en revue l'équipement scientifique à bord du Hubble Space Telescope. Cet équipement consistait à

l'origine en cinq instruments répartis dans le plan focal (voir Figures 9 et 11), et dont voici une description succincte :

- La *wide-field and planetary camera (WF/PC)* a huit détecteurs CCD de 800 sur 800 pixels (éléments d'image). Selon les circonstances, on peut utiliser des focales différentes de sorte qu'un pixel a une résolution de 0,1 ou 0,04 seconde d'arc. Dans ce dernier cas, le champ total d'une image couvre un objet comme Jupiter — ce qui justifie peut-être le nom de « planétaire », mais pas celui de « grand champ » (« wide-field »). Cette caméra répond aux rayonnements électromagnétiques depuis l'ultraviolet à 1150 Angstroms, jusqu'à l'infrarouge très proche (11.000 Angstroms). Un grand nombre de filtres divers sont disponibles pour les études les plus variées.

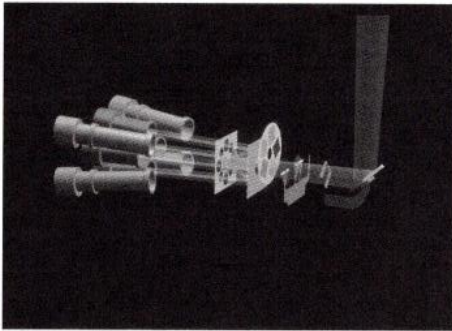


Figure 12. — Schéma de la WF/PC

- La *faint-object camera (FOC)* est une contribution de l'ESA, Agence Spatiale Européenne. Elle couvre les longueurs d'onde de 1150 à 6500 Angstroms avec une meilleure résolution spatiale que la WF/PC (de 0,043 à 0,007 seconde d'arc!). Dans ce dernier cas le champ de vision est réduit à 3,6 par 7,3 secondes d'arc. C'est l'outil idéal pour sonder les zones les plus lointaines de l'univers, avec une magnitude limite de 30 (contre 28 pour la WF/PC). Naturellement l'aberration sphérique modifie ces espérances. Filtres, polariseurs, masques, et même un petit « réseau » (pièce optique dispersant

la lumière comme un prisme) pour faire de la spectroscopie, complètent l'équipement éclectique de la FOC.

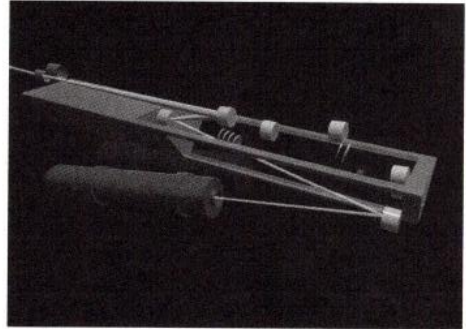


Figure 13. — Schéma de la FOC

- Le *Goddard high-resolution spectrograph (GHRS)*, comme son nom l'indique, peut être utilisé pour prendre des spectres à haute résolution (jusqu'à 100.000, mais aussi à 20.000 et 2.000). La résolution est ici le rapport de la longueur d'onde de la lumière étudiée, à la séparation minimale discernable. Par exemple, à 3000 Angstroms, un pouvoir de 100.000 permet de résoudre deux éléments de spectres séparés de 0,03 Angstroms. Cet instrument n'est utile que dans l'ultraviolet, les instruments au sol permettant de faire mieux et moins cher pour les domaines qui y sont accessibles.
- Le *faint-object spectrograph (FOS)* complète l'instrument précédent en prenant des spectres moins dispersés d'objets faibles (pour lesquels il n'y a pas assez de lumière pour alimenter un spectrographe à haute résolution). Les résolutions vont de 250 à 1.300. Cet instrument a quelque intérêt dans le visible car il permet (en principe, en l'absence d'aberration) de sélectionner des zones très petites du ciel, qui seraient rendues floues au sol par la turbulence atmosphérique.

- Le *high-speed photometer (HSP)* devait permettre de mesurer la brillance de sources faibles, à une très haute cadence (jusqu'à cent mille mesures à la seconde), avec tout un arsenal de filtres. Ces mesures sont impossibles au sol à cause de la turbulence qui provoque la scintillation.

Outre ces cinq instruments, les *fine-guidance sensors* constituent ce que l'on appelle parfois collectivement le sixième instrument scientifique du HST. Le champ de chacun de ces capteurs est compris dans l'un des trois quartiers d'anneau (de près de 4 minutes d'arc de large) représentés dans la Figure 11. Les capteurs servent à guider le télescope en suivant des étoiles de façon extrêmement précise. Outre cette mission technique, ils peuvent déterminer la position et l'éclat d'étoiles plus brillantes que la 17^e magnitude.

Puisqu'il est exclu de changer les miroirs primaire ou secondaire, on pense immédiatement à modifier l'optique d'entrée de chaque appareil afin de lui livrer un faisceau lumineux en accord avec ses caractéristiques. Ceci imposerait de placer devant chaque appareil des éléments optiques plus ou moins complexes, ou de changer des pièces à l'intérieur de ces appareils. On s'est vite aperçu que ce n'était pas toujours réalisable, et que c'était très délicat. La solution retenue tient compte de nombreux facteurs, parmi lesquels la spécificité de chaque appareil, le programme déjà entamé de modification et d'amélioration de certains de ces équipements, le budget acceptable etc.

Le Space Telescope a été conçu pour recevoir de temps à autre une visite de la navette spatiale, ceci afin de remplacer des instruments par d'autres plus performants, ou pour régler l'un ou l'autre problème. Il était acquis depuis longtemps que la première mission d'entretien du HST serait mise à profit pour installer une nouvelle version de la wide-field and planetary camera. La mise au point de celle-ci était déjà en cours lorsque l'on a lancé le HST et constaté les problèmes optiques. On a donc décidé d'incorporer à cette caméra une optique correctrice de l'aberration du miroir principal. La « WFPC2 » comprendra aussi toute une série d'améliorations concernant les détecteurs et les filtres.

Les autres instruments n'en étaient pas au même stade. La correction de l'aberration se fera par un instrument complexe le COSTAR (Corrective Optics Telescope Axial Replacement) qui sera introduit en lieu et place du high-speed photometer. On sacrifie donc l'un des instruments pour restaurer la vue de trois autres (FOC, FOS, GHRS). COSTAR sera logé dans une boîte de la taille d'une cabine téléphonique (ce qui explique qu'il faille éliminer un appareil pour lui laisser de la place). Sa caractéristique principale est le DOB, un « banc optique déployable ». Grâce à lui une panoplie de miroirs judicieusement taillés pourront être introduits à volonté dans le faisceau optique du télescope, en aval des instruments scientifiques. En tout, cinq paires de miroirs sont prévues pour répondre aux exigences de chaque configuration optique du HST. Les miroirs de chaque paire ont une fonction bien déterminée, le premier (M_1) est simplement un miroir de champ qui renvoie le faisceau vers M_2 qui se charge, quant à lui, de corriger l'aberration (voir Figure 14).

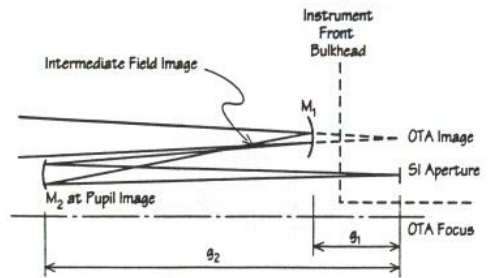


Figure 14. — Schéma optique d'une paire de miroirs utilisé par COSTAR

Outre l'abandon du photomètre rapide, cette remise à neuf aura comme désavantage de ne pas concerner l'optique des fine-guidance sensors. Ceux-ci ne disposeront toujours que d'une image affectée d'aberration sphérique, et n'auront donc pas l'efficacité optimale.

Des tests intensifs du système vont être menés en avril et mai. Ensuite COSTAR et la caméra WFPC2 seront installés dans une réplique exacte de la portion arrière du HST et l'on procèdera à une vérification exhaustive des mécanismes et de la géométrie. L'interface électrique sera alors testée avec une réplique de l'installation électrique du télescope spatial. Tout cela demandera un labeur intense jusqu'au lancement prévu à la fin de l'année.

Tremblements et autres symptômes

L'optique n'est pas le seul point faible dont devra s'occuper l'équipe de la navette qui fera l'entretien du HST. Dès son lancement le télescope a montré une propension à des vibrations incontrôlées. Chaque fois que l'instrument passe du jour à la nuit, et de la nuit au jour (ce qui en orbite correspond à des intervalles de trois-quarts d'heure seulement), il reçoit un choc mécanique dû à des contraintes sur les panneaux solaires.

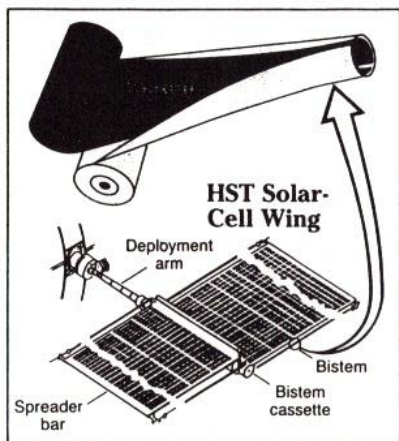


Figure 15. — Les panneaux solaires sont parfois affectés de tremblements désordonnés

Ces grandes « ailes » (Fig. 15), en s'échauffant ou se refroidissant brusquement, effectuent des battements très petits, mais suffisant pour que le système de guidage perde les étoiles guides. Pour déjouer ce phénomène, les techniciens sont obligés de se limiter à des magnitudes relativement brillantes, diminuant

d'autant la souplesse des observations. De nouveaux programmes de guidage ont été mis au point, basés sur des simulations plus réalistes que celles utilisées avant le lancement. Ils font appel à des données réelles acquises au long des orbites décrites par Hubble. Mais, surtout, il a été décidé de remplacer les panneaux solaires par de nouveaux, qui seront moins sujets à ces tremblements.

Le système de pointage du télescope est également en mauvais état. Nous avons relaté à diverses reprises dans *Le Ciel* les ennuis de gyroscopes qu'a connus Hubble. Muni de six gyroscopes, alors que trois suffisent théoriquement, le HST a vu trois de ces instruments tomber en panne l'un après l'autre. Le télescope peut donc encore fonctionner convenablement, sans perte significative d'information scientifique, mais il est à la merci de la première panne des gyroscopes survivants. Comme une voiture devant parcourir des milliers de kilomètres sans roue de secours, la situation de Hubble est devenue critique. Les trois gyroscopes défaillants seront donc remplacés.

Ajoutons à ce tableau déjà assez noir que l'un des fine-guidance sensors vient de rendre l'âme, que les mémoires de l'ordinateur de bord ont besoin d'un sérieux coup de pouce — deux séries d'entre elles étant mortes —, que les magnétomètres présentent des faiblesses et devront faire l'objet de soins... On commence à douter que la navette suffise à embarquer tout le matériel nécessaire à l'entretien.

La mission de décembre 1993

Pour résoudre tous ces problèmes — et, serait-on tenté de dire, ceux qui ne manqueront pas de venir s'ajouter à cette longue liste — les astronautes qui seront chargés de la mission Hubble ne devront pas chômer. Jamais une réparation aussi complexe n'a été faite dans l'espace. Il faudra emporter quatre tonnes d'instruments, et effectuer plus de marches dans l'espace que pour aucune autre mission visant un satellite. Il est prévu que pour arriver à ce résultat il ne faudra pas moins de quatre jours, et que deux équipes d'astronautes travailleront alternativement.

angles de sorte que les équipes peuvent étudier longuement les difficultés et mettre au point leurs techniques. D'un autre côté l'agenda très chargé et l'extrême complexité de l'entreprise ont de quoi faire peur aux plus optimistes.

* * *

Ce n'est pas d'un cœur léger que les contribuables américains voient un Space Telescope myope et tremblotant, « la gaffe d'un milliard et demi de dollars », tourner au-dessus de leurs têtes. Lancé avec sept années de retard et dépassant son budget initial par un facteur 4 ou 5, le HST est vite devenu l'objet de critiques acerbes. Et par un phénomène d'assimilation, tous les grands projets scientifiques les plus ambitieux (dits de « Big Science ») sont entrés dans le collimateur non seulement des médias, mais aussi des agences gouvernementales distributrices de crédits. Qualifier un projet d'« autre Hubble » était devenu la pire des critiques.

Si la remise en état du Hubble Space Telescope réussit, et que l'instrument tient ses promesses, on aura sans doute rétabli la crédibilité de la NASA et des grandes aventures scientifiques. Mais le moindre accroc pourrait faire échouer la mission de sauvetage (qui aura coûté la bagatelle de cent millions de dollars), laissant le HST plus mal en point qu'actuellement, voire totalement invalide. Cette déconfiture de la NASA marquerait à coup sûr le début d'une longue période de vaches maigres.



Figure 16. — Le remplacement de la caméra WF/PC par un astronaute en décembre 1993, peut-être... (vue d'artiste).

En théorie c'est réalisable. Mais l'histoire encore brève de la réparation de satellites in situ (depuis Solar Max en 1984 jusqu'à Intelsat en 1992) nous apprend que les surprises désagréables n'ont jamais manqué, et les résultats n'ont pas été à la hauteur des espérances. Le cas de Hubble peut inciter à l'optimisme car, dès le début, cet instrument avait été prévu pour recevoir des visites d'entretien. Il est garni de rampes et de prises pour les astronautes. Chaque recoin a été photographié sous tous les