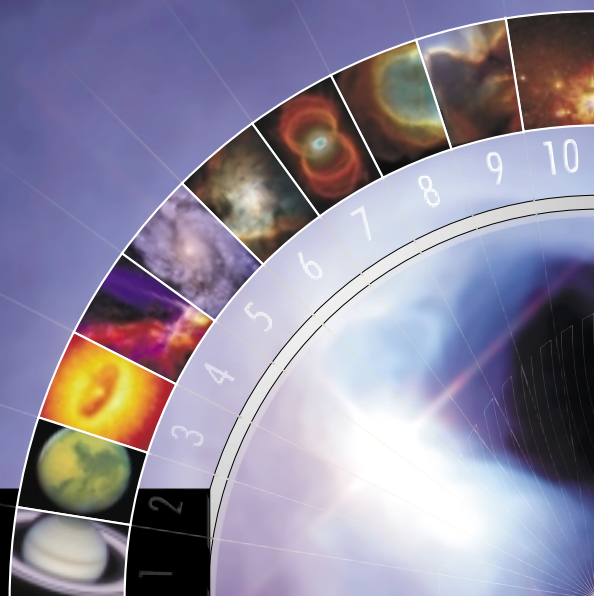


TÉLESCOPE SPATIAL HUBBLE



# 10 ANS

d'observations ... une  
**vision**  
nouvelle de l'Univers

- l'Europe et Hubble

H  
U  
B  
B  
L  
E



## Le projet Hubble

Le Télescope spatial Hubble est un projet international mené en coopération par la NASA et l'Agence spatiale européenne (ESA). L'accord de coopération ESA/NASA a été signé le 7 octobre 1977.

L'ESA a fourni deux jeux de panneaux solaires, un instrument scientifique (la caméra pour objets faiblement lumineux) et quelques autres éléments. Quinze chercheurs européens travaillent actuellement à l'Institut scientifique du télescope spatial (STScI), à Baltimore. Le STScI, géré par l'Association of Universities for Research in Astronomy (AURA) pour le compte de la NASA, est responsable de l'exploitation scientifique du télescope. Au titre de cette coopération, les astronomes européens sont assurés de disposer de 15 % du temps d'observation de Hubble.

Le Centre Européen de Coordination du Télescope Spatial (ST-ECF), hébergé par l'Organisation Européenne pour les Recherches Astronomiques dans l'Hémisphère Austral (ESO) à Garching (Allemagne), offre une assistance aux utilisateurs européens. Il est géré en commun par l'ESA et l'ESO.

Textes :  
Lars Lindberg Christensen

Publié par :  
ESA Publications Division  
ESTEC, PO Box 299,  
2200 AG Noordwijk,  
Pays-Bas

Rédaction :  
Bruce Battryck

Mise en page et maquette :  
Martin Kornmesser and  
Lars Lindberg Christensen

Traduction française :  
Pascale Molina et Evelyne Ron

Adaptation française :  
Nathalie Fourniol

Copyright:  
©2000 Agence spatiale européenne  
ISBN No.: 92-9092-611-2

Clichés :

Images prises par Hubble :  
NASA, ESA et chercheurs

Images des missions de maintenance :  
NASA

Panneaux solaires (p. 15) :  
Russ Underwood,  
Lockheed Martin Missiles & Space

Image du VLT (p. 16) et image du siège de l'ESO (p. 10) :  
European Southern Observatory (ESO)

Image NGST (p. 16/17) :  
NASA

10 ans d'observations ...

Une vision nouvelle de l'Univers – l'Europe et Hubble



Claude Nicollier  
Astronaute et astronome, ESA

*A la différence des grands télescopes au sol, emprisonnés dans leur impressionnante carapace, Hubble flotte librement dans l'espace : léger, svelte, fragile en apparence, et pourtant si puissant !*

# Table des

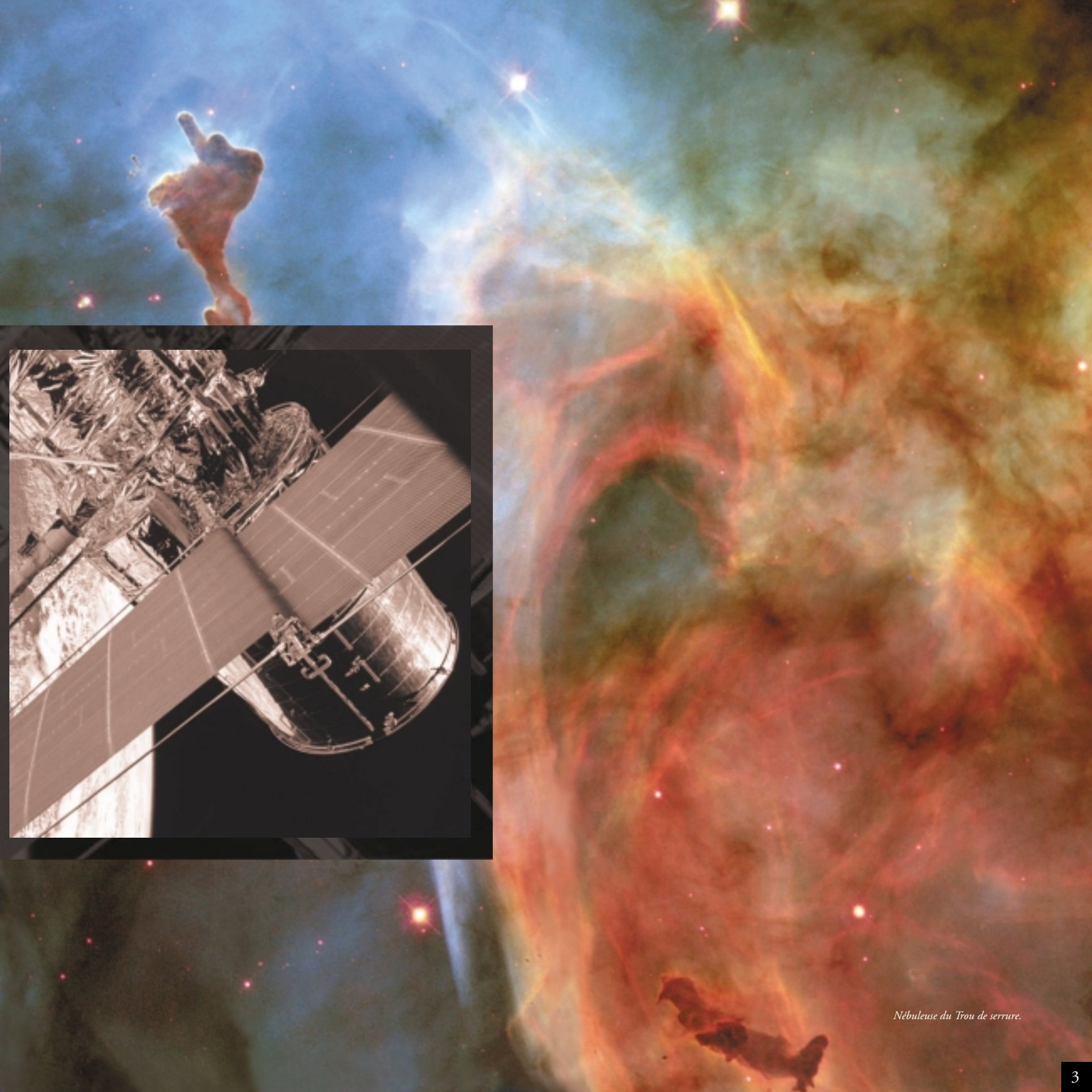
m a t i è r e s

## *Présentation générale*

Une vision nouvelle	4
Hubble : un aperçu	6
Problèmes initiaux	8
L'Europe et Hubble – Science et opérations	10
Hubble et l'Europe – Technologie	12
Lancement et missions de maintenance	14
L'avenir	16

## *Mission scientifique*

Les champs profonds	18
L'âge et la taille de l'Univers	20
Evolution stellaire	22
Le système solaire	24
Trous noirs, quasars et galaxies actives	26
Formation des étoiles	28
Composition de l'Univers	30
Lentilles gravitationnelles	32



*Nébuleuse du Trou de serrure.*

# Une vision nouvelle



C'est en 1977 que l'ESA s'associe au projet Hubble. Dans les premiers temps, l'espoir de voir aboutir cette entreprise scientifique est ébranlé par deux événements : l'accident de la navette spatiale Challenger, puis la découverte de l'aberration sphérique du miroir du télescope peu de temps après son lancement. Toute perspective de retour scientifique semble alors lointaine.

Aujourd'hui, dix ans après la mise en service du télescope, nous pouvons affirmer sans l'ombre d'un doute que l'Europe, à travers l'ESA, est largement récompensée de sa participation au projet Hubble !

L'influence spectaculaire de Hubble sur l'astrophysique et la cosmologie est due pour une part non négligeable à la contribution intellectuelle des chercheurs européens qui, grâce à l'ESA, ont pu utiliser cet instrument exceptionnel. La présence importante des astronomes européens dans les programmes d'observation de Hubble et dans les publications scientifiques en découlant confirme que l'ESA a eu raison de se rallier à ce projet.

Au-delà du succès scientifique proprement dit, l'ESA peut se féliciter de l'excellence de ses contributions technologiques et opérationnelles au projet : caméra pour objets faiblement lumineux, panneaux solaires, présence de chercheurs européens à l'Institut Scientifique du Télescope Spatial et au Centre Européen de Coordination du Télescope Spatial, mais aussi professionnalisme des astronautes européens lors

des missions de maintenance du télescope. Dans tous ces domaines, le partenaire européen a apporté la preuve de sa fiabilité.

Les dix prochaines années de Hubble s'annoncent encore plus fructueuses pour l'ESA en termes de retour scientifique, car les astronomes européens profiteront de l'effet de synergie de Hubble et des grands télescopes au sol actuellement en cours de mise en service. De plus, l'ESA est aujourd'hui en mesure de négocier une participation importante au Télescope Spatial de Prochaine Génération (NGST) avec la NASA et l'Agence spatiale canadienne.

Compte tenu de ces excellentes perspectives, il importe que la communauté européenne, et notamment la jeune génération, soient tenues au courant des progrès accomplis par l'Europe dans ce domaine. C'est pourquoi l'ESA a créé le Centre d'Information Hubble, chargé de maintenir la communication entre les projets Hubble et NGST, et les médias européens.

Notre vision de l'Univers a déjà changé avec Hubble. Et nous espérons tous que la deuxième décennie de ce télescope nous apportera un nouveau feu d'artifices de découvertes !

R.M. Bonnet  
ESA Director of Science

« ... l'ESA largement récompensée de sa participation au projet Hubble ! »

« Nous espérons tous que la

# deuxième *décennie*

*de Hubble nous apportera un nouveau feu d'artifices de découvertes ! »*

*Nébuleuse Hélice.*

# Hubble

Dans l'Univers « transparent » qui nous entoure, la lumière visible peut voyager pendant plusieurs milliards d'années sans subir d'altération. Mais quelques microsecondes avant d'atteindre le miroir des télescopes terrestres, elle doit encore traverser les turbulences atmosphériques, qui vont brouiller l'image. C'est le même phénomène qui, la nuit, fait scintiller les étoiles.

Pour éviter ce problème, il suffit d'envoyer un télescope dans l'espace. C'est chose faite avec le télescope Hubble, qui a déjà réalisé une série de découvertes parmi les plus spectaculaires de l'histoire de l'astronomie. Hubble (baptisé ainsi en hommage à l'astronome américain Edwin Hubble) scrute l'espace lointain, qui recèle certaines des grandes énigmes de l'Univers. De son poste d'observation à 600 km de la Terre, il peut capter la lumière avant qu'elle ne soit déformée par l'atmosphère grâce à son « œil » dix fois plus perçant que celui des télescopes au sol les plus puissants. Son instrument d'observation dans l'ultraviolet, le plus grand jamais emporté dans l'espace, capte des longueurs d'ondes qui sont complètement absorbées par l'atmosphère avant d'atteindre le sol. Loin au-dessus de l'atmosphère, Hubble bénéficie d'une vue claire jusqu'aux frontières de l'espace et aux origines du temps.



Hubble rénové après la mission SM4A.

## Quelques chiffres

Date de lancement – 24 avril 1990

Masse au lancement – 11.110 kg

Dimensions – Longueur : 15,9 m – diamètre : 4,2 m

Panneaux solaires – 2,4 m x 12,1 m chacun

Instruments actuels – WFPC2, STIS, NICMOS, FOC et détecteurs de guidage de précision

Orbit – circulaire à 593 km au-dessus de la Terre, inclinaison de 28°5 par rapport à l'équateur

Durée de vie prévisionnelle – 20 ans

Coût – participation financière de l'ESA au projet Hubble : 593 millions d'euros (aux conditions de 1999)



## Instruments

Dès sa conception, il était prévu de faire de Hubble un observatoire spatial permanent et d'en assurer la maintenance au moyen de la navette spatiale. Ces missions de maintenance permettent aux astronautes de remplacer et remettre à jour les instruments scientifiques à bord. Parmi ces instruments scientifiques, on compte actuellement deux caméras, deux spectrographes-imageurs et plusieurs dispositifs de guidage de précision (pour l'astrométrie).

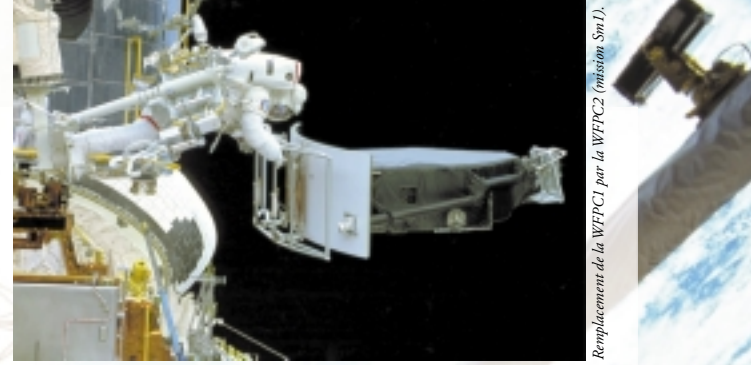
Affranchis des contraintes atmosphériques, les instruments peuvent produire des images à haute résolution des objets célestes. Alors que les télescopes au sol affichent rarement une précision meilleure que 0,5-1,0 seconde d'arc, même dans des conditions d'observation optimales, Hubble se distingue par une précision de 0,05 seconde d'arc, environ dix fois meilleure.

### Caméra Planétaire à Grand Champ 2 (WFPC2)<sup>1</sup>

WFPC2, instrument vedette du télescope, enregistre des images via une sélection de 48 filtres couleurs, dans une plage spectrale allant de l'ultraviolet lointain au proche infrarouge en passant par le visible. C'est cette caméra qui a livré la plupart des images saisissantes portées à la connaissance du grand public. Sa résolution et son excellente qualité en ont fait l'instrument le plus utilisé au cours des dix premières années d'exploitation de Hubble.

### Spectrographe-Imageur du Télescope Spatial (STIS)<sup>2</sup>

STIS est un instrument à double emploi de haute technologie : il consiste en une caméra et un spectrographe, conçus pour fonctionner dans une large gamme de longueurs d'ondes allant du proche infrarouge à l'ultraviolet.



Remplacement de la WFPC1 par la WFPC2 (mission SM1).

### Caméra Proche Infrarouge et Spectromètre Multi-Objets (NICMOS)<sup>3</sup>

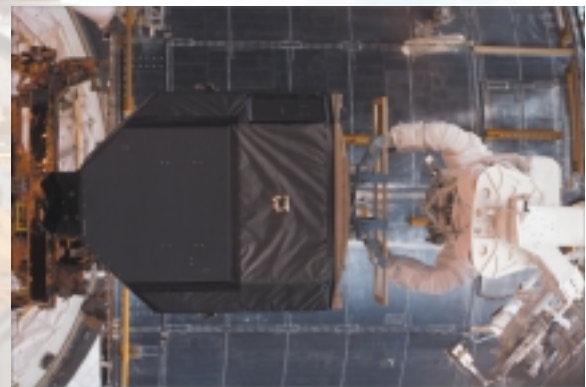
NICMOS peut prendre des images dans l'infrarouge et réaliser des observations spectroscopiques de cibles astronomiques. Il détecte la lumière infrarouge, invisible à l'œil humain, entre 8 000 et 25 000 angströms. Actuellement en sommeil, NICMOS sera doté d'un nouveau système de refroidissement lors de la prochaine mission de maintenance (3B).

### Caméra pour Objets Faibles (FOC)<sup>4</sup>

Cette caméra été construite par l'ESA. Conçue pour fonctionner dans le visible et l'ultraviolet, elle compte les photons (particules lumineuses) incidents. Elle livre des images d'une netteté exceptionnelle, supérieure à celle de WFPC2.

### Instruments de Guidage de Précision (FGS)<sup>5</sup>

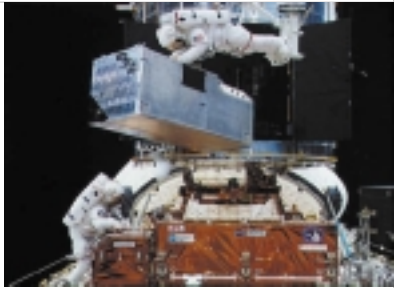
Hubble possède à son bord trois FGS, dont deux assurent le pointage et le verrouillage du télescope sur sa cible. Le troisième, utilisable en astrométrie, effectue des mesures de position très précises visant à déterminer les distances stellaires et à étudier les systèmes d'étoiles binaires.



Remplacement du FGS (mission SM2).

(1) Wide Field and Planetary Camera 2, (2) Space Telescope Imaging Spectrograph, (3) Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrograph, (4) Faint Object Camera, (5) Fine Guidance Sensors

# Problèmes initiaux



Installation de l'optique correctrice COSTAR (mission SMD).

## Aberration sphérique

Aujourd'hui, l'excellent fonctionnement du Télescope Spatial Hubble nous semble aller de soi. Néanmoins, tout juste après le lancement, la réalité nous a rappelé qu'un engin aussi complexe et techniquement innovant pouvait rencontrer quelques problèmes.

Le problème le plus grave a été celui de l'aberration sphérique. Ce défaut d'optique, dû au dysfonctionnement d'un dispositif de mesure utilisé pendant le polissage du miroir, condamnait Hubble à offrir une qualité d'image qui, si elle surpassait à bien des égards celle des télescopes au sol, n'était pas encore optimale. L'analyse de ce problème et la mise au point d'une optique correctrice, véritable prouesse technique, ont remarquablement illustré la qualité de la collaboration entre ingénieurs et scientifiques européens et américains.

## Panneaux solaires

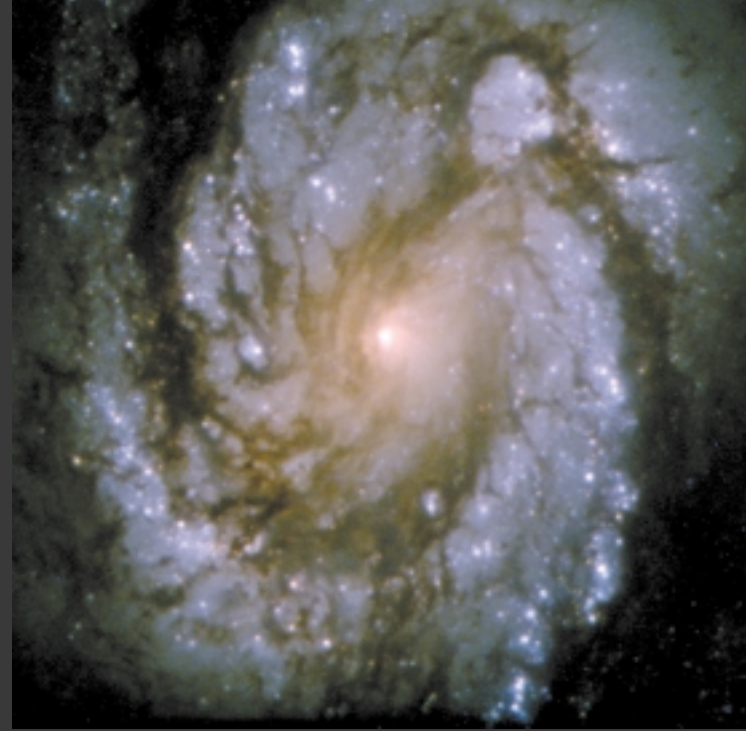
Autre difficulté, moins complexe mais gênante et inacceptable : les panneaux solaires transmettaient au satellite des vibrations déstabilisantes causées par leur système de fixation, sensible aux écarts thermiques de l'ordre de 200° C enregistrés lors des passages de la phase diurne à la phase nocturne (et vice versa) de l'orbite.

## Réparation

Au cours de la première mission de maintenance (décembre 1993), les astronautes ont exécuté les réparations nécessaires pour permettre au télescope de fonctionner au niveau de performance prévu initialement. Bien que les deux missions suivantes aient été au moins aussi complexes et astreignantes, la première a captivé l'attention de la communauté scientifique et du grand public à un degré inégalé par d'autres vols de navette. Meticuleusement préparée, brillamment exécutée, la mission fut un succès à tous les niveaux. Elle marquera un des temps forts de l'histoire des vols spatiaux habités.



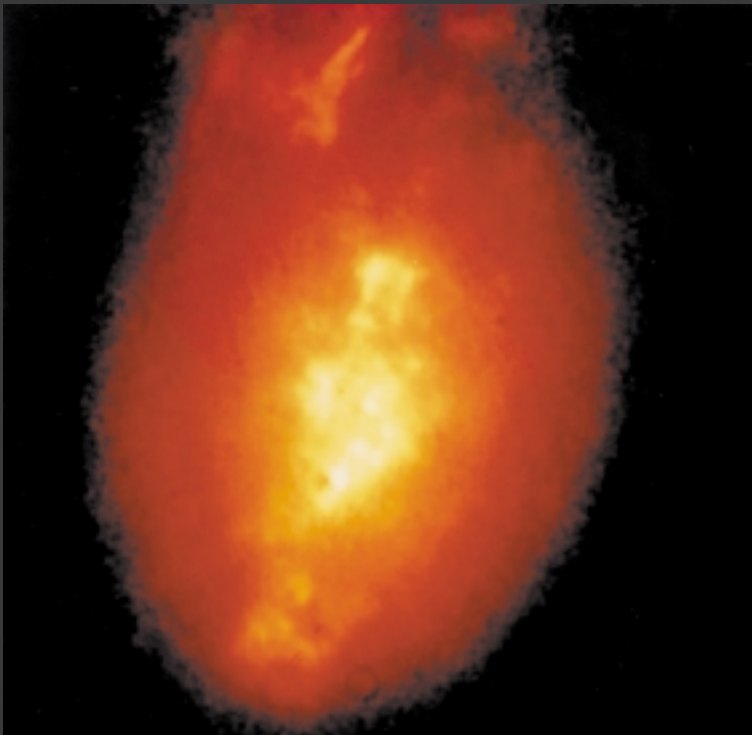
Avant correction



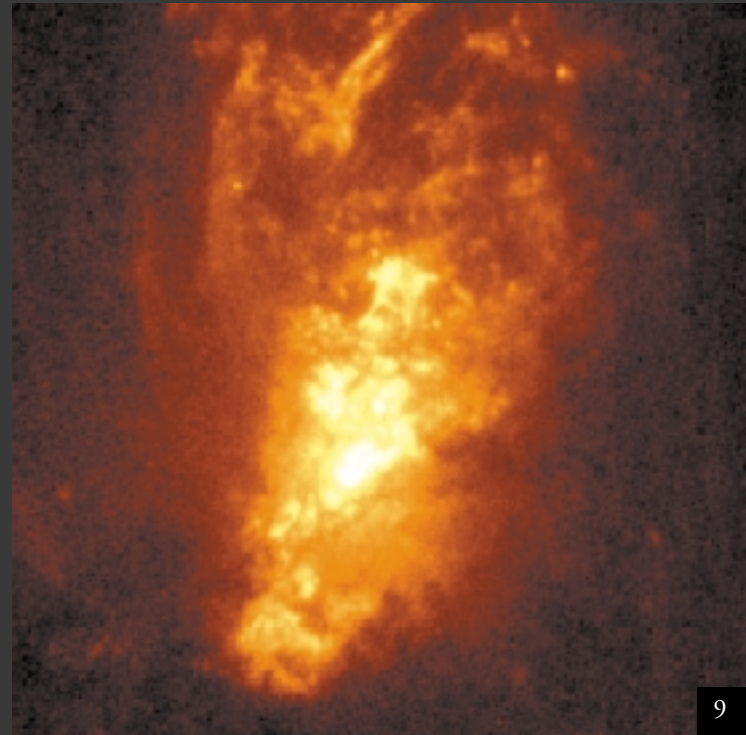
Après correction

*Galaxie spirale M100 avant et après la correction du défaut optique de Hubble.*

Avant correction



*Noyau de la galaxie active NGC 1068 avant et après la correction du défaut optique de Hubble.*



Après correction

# L'Europe et Hubble

Science et opérations



Siège de l'ESO à Garching, près de Munich.

Piero Benvenuti  
Responsable scientifique du projet Hubble pour l'ESA,  
Directeur du ST-ECF

*Le projet Hubble est d'une importance capitale pour l'Astronomie européenne. Il a permis aux scientifiques européens de bénéficier d'un observatoire de classe mondiale que l'Europe n'aurait jamais pu construire ni exploiter à elle seule et de rester compétitifs, voire d'occuper le devant de la scène dans plusieurs domaines de l'astrophysique et de la cosmologie. Aujourd'hui, l'astronomie européenne est bien placée pour tirer parti de l'expérience de Hubble et exploiter efficacement les grands observatoires en cours de construction ou en projet, par exemple le VLT de l'ESO, Gemini et le NGST.*

Duccio Macchetto  
Astronome à l'ESA,  
Chef de la Division Programmes scientifiques au STScI

*L'équipe du STScI à Baltimore comprend 15 scientifiques dépêchés par l'ESA au titre de la participation de l'Europe au projet Hubble. Ce contingent européen n'a pas seulement joué un rôle important dans l'exploitation de l'observatoire, mais a aussi souvent compté dans ses rangs de jeunes astronomes. De nombreux scientifiques européens ont effectué des recherches au STScI et plusieurs étudiants européens y ont terminé leur doctorat. Il s'agit d'un excellent retour sur investissement.*

## Utilisation de Hubble par l'Europe

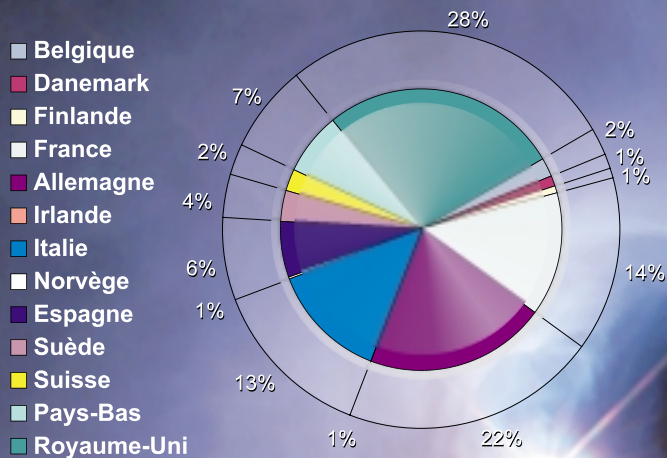
En échange de la contribution de l'ESA, les chercheurs européens sont assurés de disposer de 15% du temps d'observation de Hubble. Le temps est alloué sur la base de critères strictement scientifiques par un groupe international comprenant des experts européens. Pendant les neuf cycles d'observations précédents (environ 9 ans), le temps alloué aux Européens a toujours dépassé le minimum garanti. Il a même avoisiné les 25% ces dernières années.

Hubble a été utilisé par des chercheurs de la plupart des Etats membres de l'ESA. Au cours des neuf premiers cycles, plus de 850 astronomes européens ont participé, en tant que responsables de recherche (PI) ou chercheurs associés (Co-I), à au moins un programme d'observation. Nombre d'entre eux ont été associés à plusieurs cycles d'observation.

Le succès d'une mission scientifique peut se mesurer au nombre et à la qualité des communications publiées dans la presse spécialisée. Le nombre des articles s'appuyant sur les observations de Hubble est en constante augmentation chaque année depuis le lancement du télescope. Environ 3 articles sur 10 comptent au moins un auteur ou coauteur européen, signe de l'importance de Hubble pour l'astronomie européenne.



Nombre de chercheurs européens (PI et Co-I) par pays (total = 864)



Centre Européen de Coordination du Télescope Spatial (ST-ECF)

Géré conjointement par l'ESA et l'ESO, le ST-ECF aide les utilisateurs européens à préparer des propositions d'observations et à mener l'analyse scientifique de ces dernières. Il gère également les archives scientifiques de Hubble, dont les données sont accessibles aux astronomes via Internet.

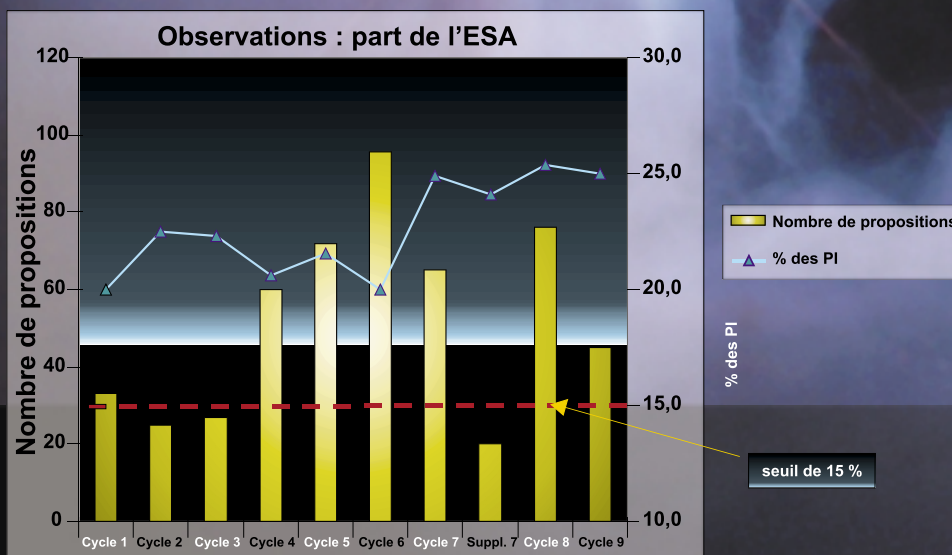
Les données recueillies par Hubble sont la propriété exclusive des observateurs pendant un an. Passé ce délai, toutes les données sont rendues publiques. En dix ans, les archives Hubble ont accumulé plus de 130 000 images exceptionnelles, véritable mine d'or pour la recherche astronomique dans les années à venir.

Institut scientifique du Télescope Spatial (STScI)

Le STScI assure l'exploitation scientifique de l'Observatoire International Hubble. Installé sur le campus de l'Université Johns Hopkins à Baltimore, le STScI est géré par l'AURA (Association of Universities for Research in Astronomy) pour le compte de la NASA. Ses effectifs actuels sont de l'ordre de 500 personnes, dont une centaine d'astronomes et de scientifiques, parmi lesquels 15 sont détachés par l'ESA.

Le STScI assure la sélection et l'exécution des propositions d'observations, le suivi scientifique du télescope et de ses instruments ainsi que l'archivage et la distribution des données.

La NASA vient de désigner le STScI comme responsable de l'exploitation scientifique du Télescope Spatial de Prochaine Génération (NGST).



# Hubble et l'Europe

T e c h n o l o g i e

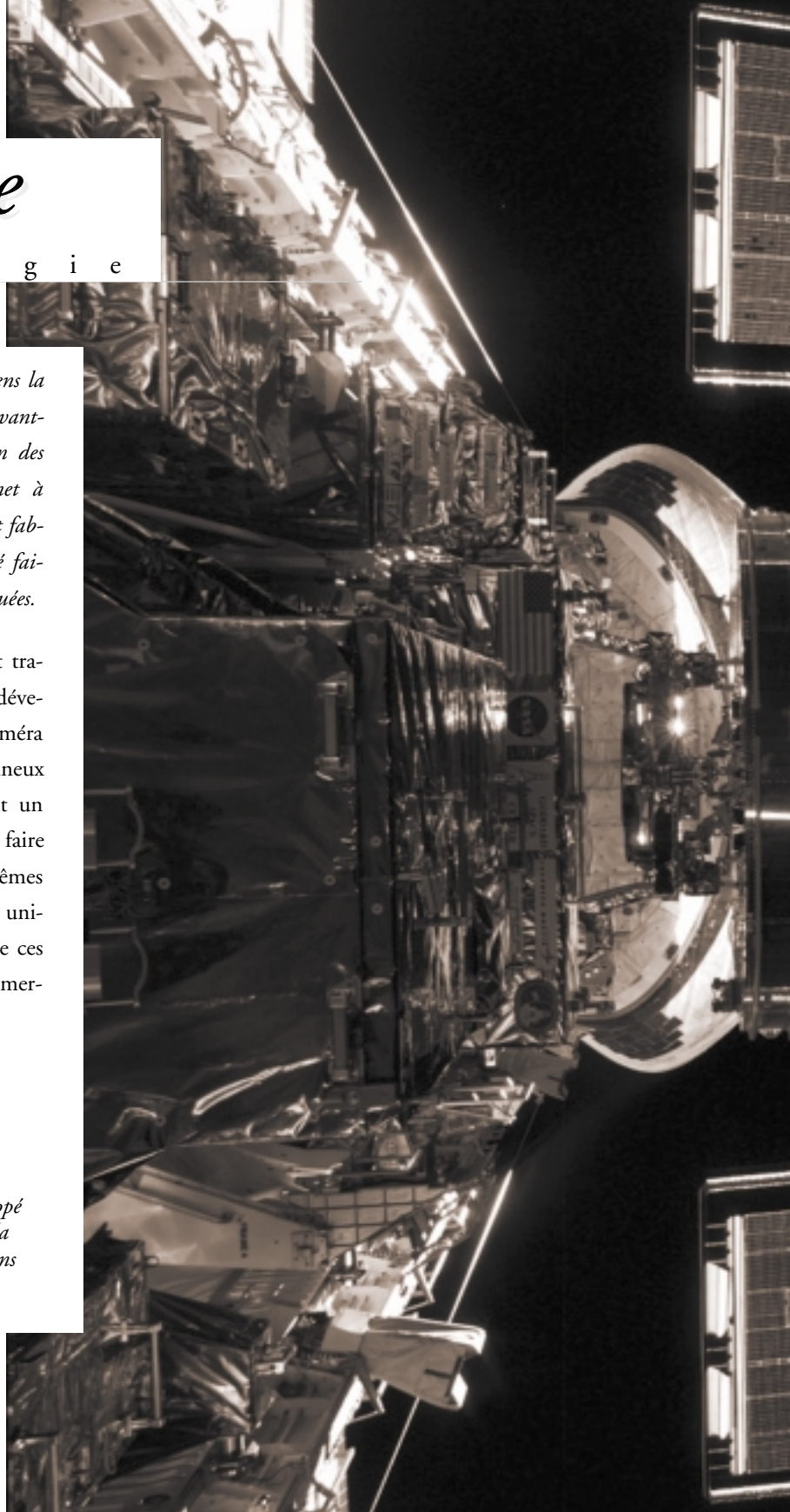
## FOC

*Hubble offre aux scientifiques européens la possibilité de mener des recherches d'avant-garde. De plus, conformément à l'un des objectifs majeurs de l'ESA, il permet à l'industrie européenne de développer et fabriquer du matériel spatial sophistiqué faisant appel aux technologies les plus évoluées.*

L'ESA et l'industrie européenne ont travaillé ensemble à la conception, au développement et à la fabrication de la caméra pour Objets Faiblement Lumineux (FOC). Cet instrument représentait un défi considérable puisqu'il fallait faire fonctionner dans les conditions extrêmes de l'espace une technologie éprouvée uniquement en laboratoire. En dépit de ces difficultés, l'instrument fournit de merveilleux résultats.

A. Linssen  
Chef du Bureau « Soutien de gestion du projet » à l'ESA

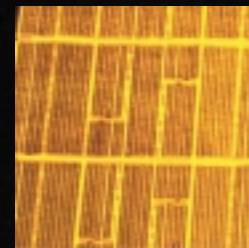
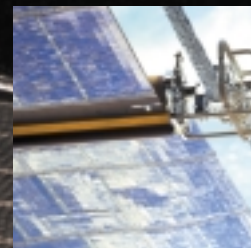
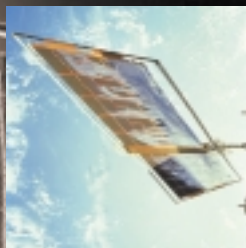
*Au-delà du retour scientifique, l'esprit d'équipe qui s'est développé dans le cadre de Hubble entre l'ESA/l'industrie européenne et la NASA/l'industrie américaine a été propice à la naissance de liens d'amitié durables.*



## *Panneaux solaires*

L'observatoire est alimenté en énergie par deux immenses panneaux solaires conçus, développés et fabriqués par l'industrie européenne sous la direction de l'ESA. Ces frêles structures, qui s'effondreraient sous leur propre poids si elles étaient déroulées sur Terre, ont été conditionnées de manière à résister aux contraintes extrêmes du lancement. Déployés en orbite, les panneaux doivent rester orientés vers le Soleil, rechargeant sans discontinuer les batteries du télescope. Les responsables de leur conception n'ont pas eu le droit à l'erreur, la mission ne pouvant survivre à une panne totale d'alimentation causée par une éventuelle défaillance des panneaux.

L'industrie européenne a participé, au côté de l'ESA, à la réussite de Hubble, fruit d'une collaboration réellement internationale entre l'Europe et les Etats-Unis. Si cela n'a peut-être rien de surprenant de nos jours, il ne faut pas oublier que lors du démarrage du projet, au milieu des années 1970, l'Europe n'était pas aussi unie qu'aujourd'hui. Des projets spatiaux de grande envergure comme Hubble ou certains projets strictement ESA ont joué un rôle de catalyseur dans la consolidation de l'Union européenne telle que nous la connaissons aujourd'hui.



*Panneaux solaires de Hubble.*

*Hubble pendant la mission SM2.*



*Le télescope spatial Hubble est lancé à bord de la navette Discovery le 24 avril 1990 à 12 h 34 (TU) et largué dans l'espace le 26 avril à 19 h 38 (TU) à une altitude de plus de 600 km.*

#### Missions de maintenance

Les missions de maintenance qui ont permis de conserver le télescope et ses instruments en parfait état de marche sont l'une des idées novatrices de Hubble. Il était prévu à l'origine de desservir le télescope tous les 30 mois et de le ramener au sol tous les 5 ans pour une révision générale. Ce plan a changé et prévoit maintenant une visite de la navette tous les 3 ans environ, sans révision à Terre.

#### Première mission de maintenance (SM1)

Handicapé par l'aberration sphérique de son miroir primaire, Hubble n'a pas

## *Lancement*

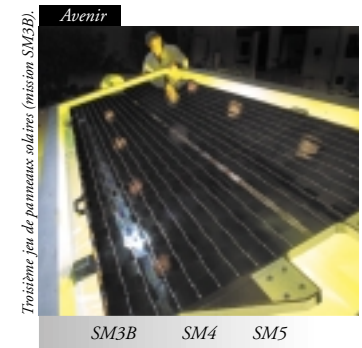
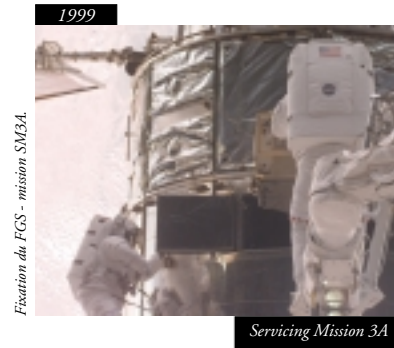
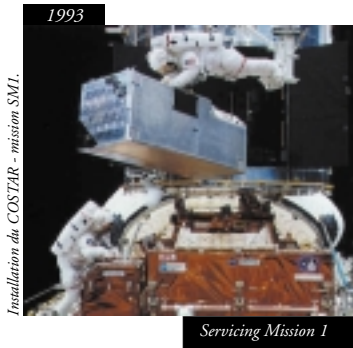
## *et missions de maintenance*

répondu aux attentes des astronomes pendant les trois premières années. A l'occasion de la première mission de maintenance (1993), les astronautes, parmi lesquels le Suisse Claude Nicollier, ont installé un dispositif de correction optique, le COSTAR, pour remédier à la «myopie» de l'instrument. Dès lors, l'âge d'or de Hubble a commencé : les images étaient d'une excellente netteté et des résultats nouveaux et surprenants étaient régulièrement obtenus. Le COSTAR a remplacé le Photomètre à Grande Vitesse (HSP), alors que WFPC (caméra planétaire à grand champ) a cédé la place à WFPC2. Les panneaux solaires, souffrant d'une torsion excessive, ont été échangés. Nombreux sont ceux qui voient dans cette mission le véritable tournant du projet. Par leurs interventions très complexes, les astronautes ont fait de Hubble l'outil scientifique le plus puissant de l'histoire



Claude Nicollier  
Astronaute et astronome, ESA

*Pendant les missions de maintenance SM1 et SM3A, je ne me laissais pas d'admirer la beauté du télescope en orbite, se détachant sur le fond noir de l'espace environnant, ses panneaux solaires miroitant sous le Soleil ... A la différence des grands télescopes au sol, emprisonnés dans leur impressionnante carapace, Hubble flotte librement dans l'espace : léger, svelte, fragile en apparence, et pourtant si puissant !*



de l'astronomie.

Deuxième mission de maintenance (SM2)

L'équipage de la deuxième mission (1997), qui incluait cinq sorties dans l'espace, a remplacé deux instruments scientifiques de première génération, le Spectrographe à Objets de Faible Luminosité (FOS) et le Spectrographe Goddard à Haute Résolution (GHRS), par la Caméra dans le proche infrarouge/Spectromètre Multi-Objets (NICMOS) et le Spectrographe-Imageur du Télescope Spatial (STIS).

Mission de maintenance SM3A

En novembre 1999, un quatrième gyroscope sur les six d'origine est tombé en panne. Or, il faut au moins trois gyroscopes opérationnels pour assurer le pointage du télescope. Hubble est alors passé

en mode de sauvegarde, interdisant toute observation. Une intervention devenait cruciale. La NASA, qui avait anticipé ce problème et scindé en deux la troisième mission, a avancé la date de la mission SM3A. Discovery a décollé en décembre 1999 et son équipage – comprenant les astronautes de l'ESA Claude Nicollier et Jean-François Clervoy – a mené à bien les réparations ainsi que d'autres interventions programmées. Depuis, Hubble livre à nouveau des images superbes.

Futures missions de maintenance

En 2001, les astronautes de la mission SM3B remplaceront la FOC par la Caméra pour Observations Panoramiques (ACS). Ils installeront aussi un nouveau jeu de panneaux solaires et un système de refroidissement pour NICMOS, qui sera remis en service. Les travaux de remplacement de l'isolation thermique se

poursuivront et le télescope sera hissé sur une orbite plus élevée. Pour la quatrième mission de maintenance, deux nouveaux instruments scientifiques sont en préparation : le Spectrographe des Origines Cosmiques (COS), qui remplacera le COSTAR, et la caméra WFPC3, qui se substituera à WFPC2. Au terme de son existence (vers 2010), le télescope devra être ramené sur Terre, sa retombée dans l'atmosphère n'étant pas exempte de risque.

# L'avenir

## La synergie sol-espace



Crédit : ESA / ESO / J. H. Johnson / NASA

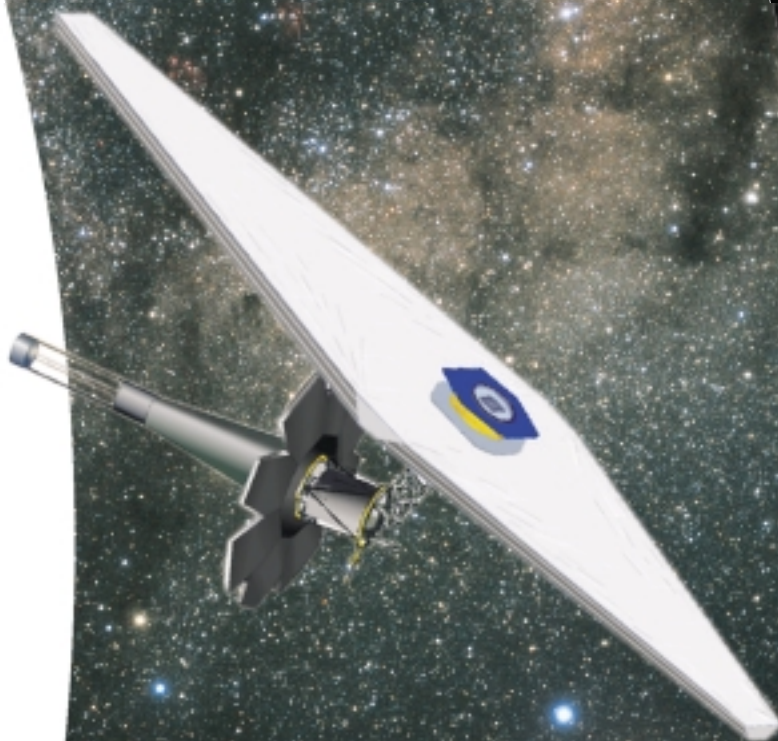
Hubble a réalisé de nombreuses percées en astrophysique et en cosmologie. Il a aussi ouvert la voie à une utilisation plus efficace des grands télescopes au sol et influencé la conception de nouveaux instruments d'observation.

Doté d'une résolution hors pair, Hubble peut discerner des galaxies lointaines, peu lumineuses, mais son miroir primaire n'est pas suffisamment grand pour analyser dans le détail la lumière venant de ces objets lointains. Une fois les galaxies découvertes, les télescopes au sol de 8 à 10 mètres de diamètre (VLT de l'ESO, télescopes Keck et Gemini, par exemple) peuvent les observer, analyser leurs signaux et en déterminer la nature et la composition. C'est l'utilisation combinée de Hubble et des moyens au sol qui permet aux astronomes non seulement de localiser les objets mais aussi d'en déterminer la composition et l'âge.

Catherine Cesarsky  
Directrice générale de l'ESO

*Les progrès en astrophysique et en cosmologie dépendent plus que jamais de l'utilisation combinée des observatoires spatiaux et des télescopes au sol. Les organisations à la tête des grands observatoires devraient consentir un effort particulier pour améliorer la synergie entre systèmes spatiaux et systèmes au sol, aussi bien en termes d'opérations que d'exploitation des données, cette coordination permettant de dégager des économies substantielles. L'ESA et l'ESO unissent d'ores et déjà leurs efforts dans plusieurs secteurs stratégiques et envisagent d'intensifier cette fructueuse collaboration.*

L'expérience et la solide base de connaissances acquises grâce à Hubble influenceront profondément l'exploitation initiale de plusieurs observatoires en projet, aussi bien terrestres (télescope d'astronomie millimétrique ALMA de l'ESO, télescopes optiques de 40 à 100 mètres) que spatiaux (FIRST/PLANCK de l'ESA, MAP de la NASA, etc.).



Sergio Volonté  
Coordinateur des missions d'astronomie à l'ESA

*Vu le succès de la participation de l'Europe au projet Hubble, il est logique que l'ESA s'intéresse aujourd'hui activement au projet de Télescope spatial de prochaine génération (NGST) avec la NASA et l'Agence spatiale canadienne. Le NGST, télescope infrarouge à grande ouverture, scrutera les confins de l'Univers pour remonter jusqu'à la « lumière primordiale » des premières étoiles et galaxies.*

## NGST

La qualité exceptionnelle des images de Hubble a influé sur la conception de nouveaux observatoires encore plus ambitieux. Dans un Univers en expansion, plus les astronomes remontent loin dans le temps, plus la lumière est décalée vers les grandes longueurs d'onde. Pour « voir » plus loin que Hubble et remonter le fil du temps jusqu'à la naissance des galaxies, nous devons observer dans l'infrarouge. Le télescope NGST de 8 mètres pourra capter dix fois plus de lumière que son prédécesseur et affichera une sensibilité extraordinaire à l'infrarouge. Son lancement est prévu en 2009.

Des études sur le NGST sont en cours à la NASA, à l'Agence spatiale canadienne et à l'ESA.

# Les champs profonds

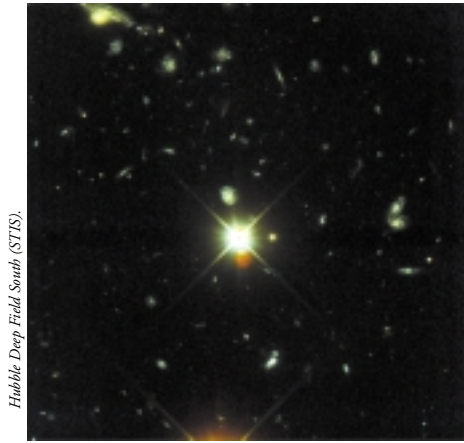
Les scientifiques ont justifié la construction du télescope Hubble notamment par le fait qu'il permettrait d'établir la taille et l'âge de l'Univers et de mettre à l'épreuve les théories sur son origine. Les images de galaxies faibles livrent en effet de précieux indices sur l'Univers tel qu'il était dans sa prime jeunesse et sur la façon dont il a pu évoluer. Les champs profonds observés par Hubble (« Hubble Deep Fields ») ont offert aux astronomes une première vision claire de l'époque à laquelle sont nées les galaxies.



Hubble Deep Field North (WFPC2).

Stefano Cristiani  
Centre Européen de Coordination du Télescope Spatial (ST-ECF)

*A mon avis, les champs profonds comptent parmi les images qui ont le plus marqué la cosmologie observationnelle. Ces plongées dans les profondeurs de l'espace et du temps ont levé le voile sur les premières étapes de la formation des galaxies, voici plus de 10 milliards d'années, et figurent sans aucun doute au nombre des grandes réussites de Hubble.*



Hubble Deep Field South (STIS)

L'idée des champs profonds est née de l'analyse des premières images de l'Univers lointain prises par Hubble après la réparation de 1993. Sur ces images apparaissaient de nombreuses galaxies souvent très différentes de celles qui peuplent l'Univers local et inaccessibles aux télescopes terrestres classiques.

Le premier champ profond, le Hubble Deep Field North (HDF-N), a été observé dix jours d'affilée aux alentours de Noël 1995. Cette image est le résultat de 342 « poses » distinctes, représentant au total plus de 100 heures d'exposition, contre seulement quelques heures pour des observations normales de Hubble. La région observée du ciel dans la Grande Ourse avait été soigneusement sélectionnée comme étant la moins dense possible de manière à pouvoir scruter l'Univers bien au-delà de la Voie lactée et des galaxies voisines.

Stupéfaits, les astronomes ont dénombré dans le HDF-N presque 3000 galaxies ! Hubble, remontant le temps, leur avait livré un cliché de l'Univers très jeune, dans lequel la majorité des galaxies n'avaient pas encore formé d'étoiles. On peut parler d'un véritable rendez-vous avec le Big Bang !

Ces galaxies très lointaines se sont révélées plus petites et plus irrégulières que les galaxies proches, ce qui tend à montrer que les galaxies se forment par coalescence gravitationnelle de structures plus petites.

En 1996, il a été décidé d'observer un deuxième champ profond, le Hubble Deep Field South (HDF-S), pour vérifier si le HDF-N était une région spéciale, non représentative de l'Univers. Le nouvel HDF contenait cette fois un quasar qui, tel un « phare » cosmologique, a livré de précieux renseignements sur la matière qui le sépare de la Terre.

Par la suite, d'autres instruments terrestres et spatiaux ont longuement étudié les mêmes régions du ciel. Nous devons certains des résultats les plus intéressants à ces synergies entre instruments de tailles différentes opérant dans des milieux et des longueurs d'ondes différentes.

# L'âge et la taille de l'Univers

## Les Céphéides

La principale justification scientifique de la construction de Hubble a été de déterminer la taille et l'âge de l'Univers en observant des Céphéides dans des galaxies lointaines. Cet objectif prioritaire a imposé des contraintes quant à la taille minimale du miroir primaire du télescope.

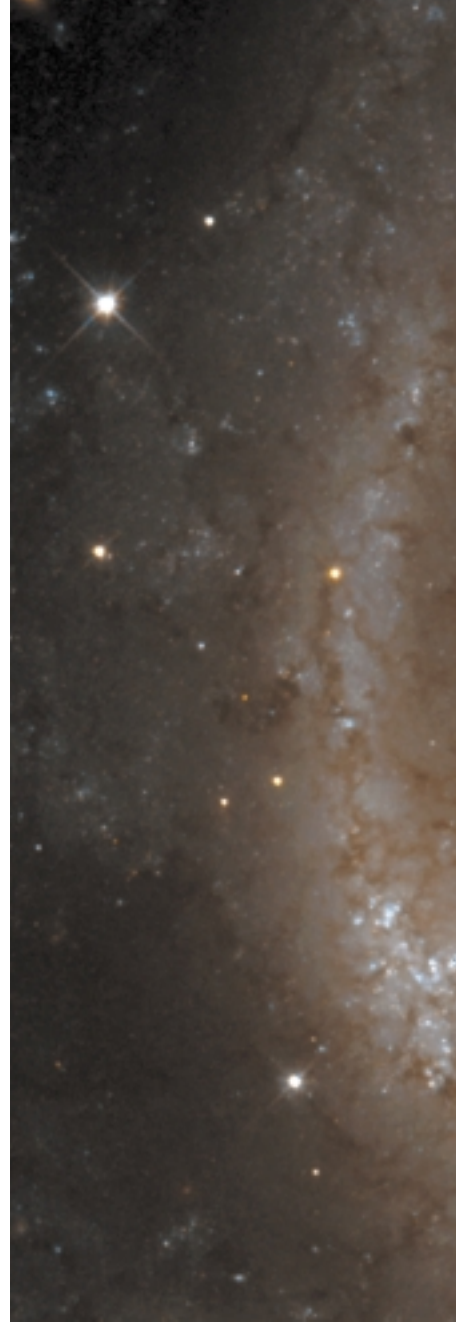
Les céphéides sont des étoiles variables d'un type particulier, affichant des variations de luminosité très stables et prévisibles. La période de ces variations dépend de certaines propriétés physiques des étoiles, notamment de leur masse et de leur luminosité intrinsèque. Cela signifie qu'à partir de la seule variabilité de leur luminosité, les astronomes peuvent déterminer la nature physique des Céphéides et, partant de là, leur distance. C'est pourquoi les Céphéides servent d'étoiles standard en cosmologie.

Plusieurs astronomes ont utilisé Hubble pour observer des Céphéides et ont obtenu des résultats extraordinaires. Ces céphéides ont ensuite servi d'étalon de mesure pour estimer la distance de certaines supernovae qui, à leur tour, ont fait office de jalons cosmiques pour évaluer l'échelle de l'Univers. Grâce à Hubble, l'âge de l'Univers a été établi avec une précision bien meilleure : 15 milliards d'années environ.

Gustav A. Tammann  
Astronome, Université de Bâle

*Nous vivons une époque passionnante. Grâce à Hubble, la cosmologie a accompli des progrès prodigieux. Nous avons aujourd'hui une image beaucoup moins parcellaire de l'Univers, avancée impensable il y a cinq ans encore, alors que la cosmologie traversait une phase de crise. Nous avons pu vivre ce changement spectaculaire qui nous a fait passer de la misère à la gloire !*

*Galaxie spirale NGC 4603 contenant des céphéides utilisées pour les mesures de distances.*





## Les Supernovae

Grâce à son acuité exceptionnelle, Hubble peut voir des étoiles qui explosent, les supernovae, distantes de plusieurs milliards d'années-lumière que d'autres télescopes ont du mal à étudier.

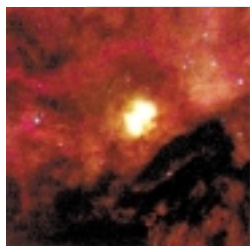
La plupart des chercheurs estiment aujourd'hui que l'expansion de l'Univers connaît une accélération. Cette affirmation, surprenante, repose sur une combinaison de mesures de supernovae lointaines faites par les meilleurs télescopes du monde, Hubble inclus. On s'était longtemps demandé si l'expansion de l'Univers allait s'arrêter dans un lointain avenir ou si elle se poursuivrait plus lentement. Il semble que nous soyons loin d'un ralentissement. En fait, sous l'effet d'une propriété mystérieuse de l'espace (l'énergie du vide), l'expansion s'accélère et elle se poursuivra indéfiniment.

Hubble, grâce à sa haute résolution, a amélioré la précision des mesures de supernovae. Prise depuis la Terre, l'image d'une supernova se confond généralement avec celle de sa galaxie-hôte. Hubble, pour sa part, distingue les lumières des deux sources et mesure directement la supernova.

Bruno Leibundgut  
Astronome, European Southern Observatory (ESO)

*Hubble a déterminé les distances des quatre premières supernovae qui ont remis en cause notre compréhension de l'Univers. Bien que la preuve définitive de l'accélération de l'Univers ne soit venue que plus tard, les observations de Hubble ne s'accordaient déjà pas avec un ralentissement de l'expansion de l'Univers.*

# Evolution stellaire



Pouponnière d'étoiles massives dans la nébuleuse Puppis.

La lumière et le rayonnement que nous pouvons observer dans l'Univers viennent essentiellement des étoiles : étoiles individuelles, amas stellaires, nébuleuses ou galaxies constituées de milliards d'étoiles. Sphères composées d'hydrogène et d'autres éléments chimiques, les étoiles sont le siège de réactions nucléaires similaires à celles de la bombe H qui, par la conversion d'éléments légers en éléments plus lourds, dégagent une prodigieuse quantité d'énergie. Comme les êtres humains, elles naissent, grandissent et meurent, mais sur une échelle de temps incommensurable.

Hubble a démontré sa supériorité sur d'autres télescopes en établissant un lien entre la naissance, la vie et la mort des étoiles et les théories de l'évolution stellaire. En observant avec Hubble des étoiles dans d'autres galaxies, les astronomes ont pu étudier l'influence exercée par des environnements différents sur l'évolution stellaire et recueillir des données indispensables à une meilleure compréhension de notre propre galaxie, la Voie lactée.

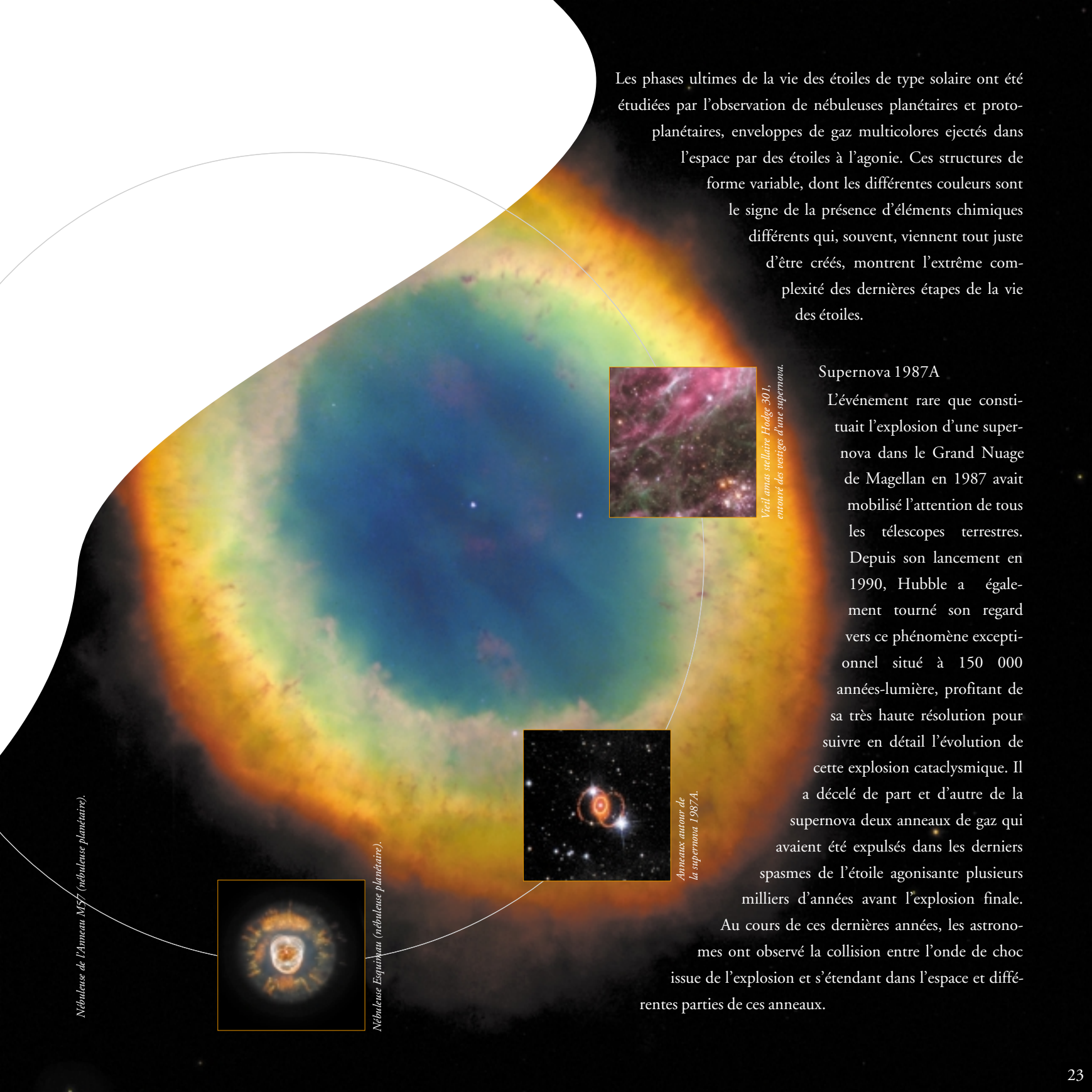
Hubble a été le premier télescope à observer directement des naines blanches dans des amas stellaires globulaires. Ce résidu d'étoile qu'est la naine blanche livre des indices sur l'étoile originelle, laquelle a brillé avec tant d'ardeur qu'elle a épuisé son combustible nucléaire depuis bien longtemps. Hubble a permis d'établir l'âge de ces anciens amas, paramètre important pour les cosmologistes.

Les qualités de Hubble ont aussi fait merveille dans l'étude de la relation entre formation et évolution stellaire (cf. pages 28-29). NICMOS, instrument de Hubble sensible à l'infrarouge, peut voir à travers le cocon de poussière entourant les étoiles dans leur plus jeune âge. Des découvertes parmi les plus extraordinaires ont été faites en jetant un coup d'œil à travers les nuages de poussière entourant le centre de la Voie lactée. Ce centre, où semblait régner un calme plat, est en fait peuplé d'étoiles massives très jeunes, regroupées en amas.

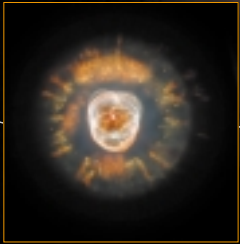
Gerard Gilmore  
Astronome, Université de Cambridge

*Hubble a, à mon avis, révolutionné l'étude des amas globulaires, en particulier de ceux présents dans d'autres galaxies. Dans ces objets si denses, les étoiles sont si concentrées qu'il était quasiment impossible de les distinguer les unes des autres avec les télescopes terrestres. Désormais, nous pouvons déterminer la nature de ces étoiles et l'évolution des amas, mais aussi comprendre comment la gravité intervient dans ces systèmes complexes.*





Nébuluse de l'Anneau M57 (nébuluse planétaire).



Nébuluse Esquimaux (nébuluse planétaire).



Viel amas stellaire Hodge 301, entouré de vestiges d'une supernova.



Anneaux autour de la supernova 1987A.

Les phases ultimes de la vie des étoiles de type solaire ont été étudiées par l'observation de nébuleuses planétaires et proto-planétaires, enveloppes de gaz multicolores ejectés dans l'espace par des étoiles à l'agonie. Ces structures de forme variable, dont les différentes couleurs sont le signe de la présence d'éléments chimiques différents qui, souvent, viennent tout juste d'être créés, montrent l'extrême complexité des dernières étapes de la vie des étoiles.

### Supernova 1987A

L'événement rare que constituait l'explosion d'une supernova dans le Grand Nuage de Magellan en 1987 avait mobilisé l'attention de tous les télescopes terrestres. Depuis son lancement en 1990, Hubble a également tourné son regard vers ce phénomène exceptionnel situé à 150 000 années-lumière, profitant de sa très haute résolution pour suivre en détail l'évolution de cette explosion cataclysmique. Il a décelé de part et d'autre de la supernova deux anneaux de gaz qui avaient été expulsés dans les derniers spasmes de l'étoile agonisante plusieurs milliers d'années avant l'explosion finale.

Au cours de ces dernières années, les astronomes ont observé la collision entre l'onde de choc issue de l'explosion et s'étendant dans l'espace et différentes parties de ces anneaux.

# Le système solaire

Pluton et son satellite Charon.



Rudi Albrecht  
Centre Européen de Coordination du Télescope Spatial (ST-ECF)

*Avec Hubble, nous avons mené une série d'observations approfondies de Pluton, suivies d'un traitement élaboré des données au sol. Sur nos écrans sont alors apparus, pour la première fois dans l'Histoire, des détails de la surface de cette planète. Personnellement, ce fut pour moi un moment inoubliable que de pouvoir présenter cette image à l'astronome qui avait découvert Pluton, Clyde Tombaugh, permettant ainsi à Hubble de saluer sa découverte.*

En ce qui concerne les planètes et les satellites du système solaire, Hubble fournit des images d'une qualité que seules des sondes dépêchées vers ces corps célestes seraient à même de surpasser. Hubble possède toutefois un avantage sur les sondes, celui de pouvoir réexaminer régulièrement ces objets sur plusieurs années.

L'observation régulière de la surface des planètes est indispensable à l'étude de la géologie et de l'atmosphère de ces objets. L'évolution de certains phénomènes météorologiques (tempêtes de poussière, par exemple) pouvant en dire long sur les processus sous-jacents. Hubble peut aussi observer directement des éruptions volcaniques. A la surface de Vesta - astéroïde de 500 km de diamètre « photographié » d'une distance de 250 millions de kilomètres - les astronomes ont découvert un paysage étrange, présentant de nombreux écoulements de laves, dominé par un énorme cratère d'impact.

Hubble peut aussi réagir rapidement à des événements spectaculaires survenant soudainement dans le système solaire. La comète Shoemaker-Levy 9, par exemple, a suscité beaucoup d'émotion lors de sa plongée dans l'atmosphère de Jupiter (16-22 juillet 1994). Hubble a été témoin du parcours final des fragments de la comète et a livré des images stupéfiantes de leurs sites



*Le satellite naturel Io projette son ombre sur les ceintures de nuages de Jupiter.*

*Site d'impact d'un des fragments de la comète Shoemaker-Levy 9.*

d'impact, d'où les astronomes ont tiré de précieux renseignements sur l'atmosphère jovienne.

Lors de leur survol de Jupiter et de Saturne (planètes géantes gazeuses), les sondes Voyager avaient déjà signalé l'existence de phénomènes lumineux similaires à nos aurores boréales. Mais Hubble a été le premier à en révéler la structure délicate. Ses caméras sont sensibles au rayonnement ultraviolet qui, absorbé par l'atmosphère terrestre, ne peut être capté par les observatoires au sol.

Pluton est la seule planète à ne pas avoir été survolée par une sonde spatiale. En 1994, toutefois, Hubble a pris les premiers clichés sur lesquels Pluton et son satellite Charon, vus d'une distance de 4,4 milliards de kilomètres, apparaissent nettement comme deux objets distincts.



*Cyclone sur Mars.*

# Trous noirs, quasars et galaxies actives



Trou noir de 300 millions de fois la masse du Soleil dans la galaxie NGC 7052.

Dans les années 1950 et 1960, les astronomes ont découvert des objets (quasars, radiosources) libérant une énergie fantastique qui ne s'accommodait d'aucune des explications avancées pour des sources d'énergie classiques comme celles produites par les étoiles. On émit l'hypothèse que l'énergie dégagée par ces objets était due à la présence de trous noirs massifs en leur centre.

Avant le lancement de Hubble, une poignée de trous noirs potentiels avaient été étudiés, mais les observatoires terrestres, compte tenu de leurs limitations inhérentes, n'avaient pu fournir de preuve irréfutable de leur existence. Les trous noirs sont des objets qui, par définition, ne peuvent être observés car aucun rayonnement ne peut s'en échapper. On peut toutefois étudier leurs effets sur leur environnement, notamment les puissants jets d'électrons qui s'éloignent jusqu'à plusieurs milliers d'années-lumière du centre des galaxies. On peut aussi observer le rayonnement intense de la matière qui tombe sur les trous noirs ; mesurer la vitesse de cette matière permet de déterminer la masse du trou noir proprement dit. Ces mesures complexes supposent d'exploiter les capacités extraordinaires de Hubble.

Hubble tient un rôle important dans

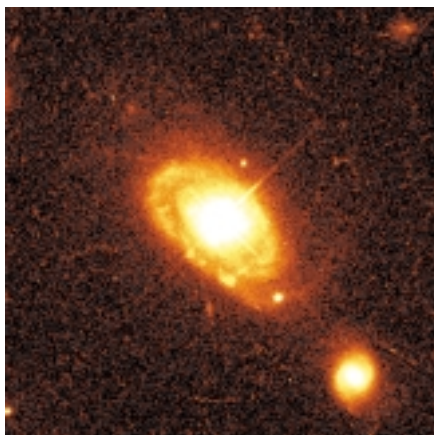
l'étude des jets et des disques de matière entourant certains trous noirs. Il est le premier à avoir effectué des mesures précises de ces masses. Ainsi a-t-il découvert, au centre de certaines galaxies, des trous noirs de 3 milliards de fois la masse du Soleil.

Hubble a surpris tout un chacun en livrant des preuves solides de l'existence de trous noirs au centre de toutes les galaxies. De plus, comme il semble que les grands trous noirs se situent dans les grandes galaxies, il doit exister un lien entre la formation de la galaxie et celle de son trou noir et vice versa. Ces considérations ont une profonde incidence sur les théories de la formation et de l'évolution des galaxies et fourniront à Hubble matière à de nouvelles recherches dans les années à venir.

## Quasars

Dans les années 1980, des observations au sol ont révélé la présence d'une lumière floue autour de certains quasars. Les astronomes ont supposé que ces quasars se trouvaient dans des galaxies et que ces zones de flou lumineux correspondaient aux galaxies-hôtes. Cette théorie a été clairement confirmée par la caméra pour objets faiblement lumineux de Hubble. En outre, les quasars semblent se manifester dans

tous types de galaxies, alors qu'on croyait les trouver uniquement dans des galaxies elliptiques. Voilà un élément important puisque l'on suppose que la lumière des quasars provient des trous noirs nichés au centre de leurs galaxies-hôtes. Les astronomes en ont maintenant la preuve formelle et peuvent démontrer que les galaxies-hôtes des quasars sont du même type que celles observées dans notre voisinage. La question se pose alors de savoir pourquoi la plupart des galaxies voisines, y compris la Voie lactée, abritent des trous noirs « dormants », inactifs pour le moment. Hubble se penchera bientôt sur ce sujet.



Le quasar PG 0052+251 et sa galaxie-hôte.

## Un modèle unifié

La plupart des astronomes estiment aujourd'hui que les quasars, les radiogalaxies et les centres des galaxies actives sont simplement des manifestations différentes d'un même phénomène : un trou noir d'où s'échappent, de part et d'autre, des jets de particules énergétiques. Lorsque le jet est orienté vers la Terre, nous l'assimilons au « phare » d'un quasar. Orientée différemment, l'émission est perçue comme une galaxie active ou une radiogalaxie. De nombreux astronomes ont adhéré à ce concept de « modèle unifié » sur la base d'un certain nombre de programmes d'observation de Hubble. Les idées simplistes des premiers temps ont toutefois cédé la place à une notion plus complexe du phénomène, qui continuera à évoluer.

Duccio Macchetto  
Astronome de l'ESA,  
Chef de la Division Programmes scientifiques au STScI

*Hubble nous a livré des signes probants de la présence, dans toutes les galaxies, de trous noirs de plusieurs millions ou milliards de fois la masse du Soleil. Notre conception des galaxies s'en trouve radicalement modifiée. Je suis convaincu que dans les dix ans à venir, Hubble découvriront que les trous noirs tiennent un rôle beaucoup plus important dans la formation et l'évolution des galaxies que nous ne le croyons aujourd'hui, nous contraignant peut-être à réviser notre conception de la structure générale de l'Univers.*

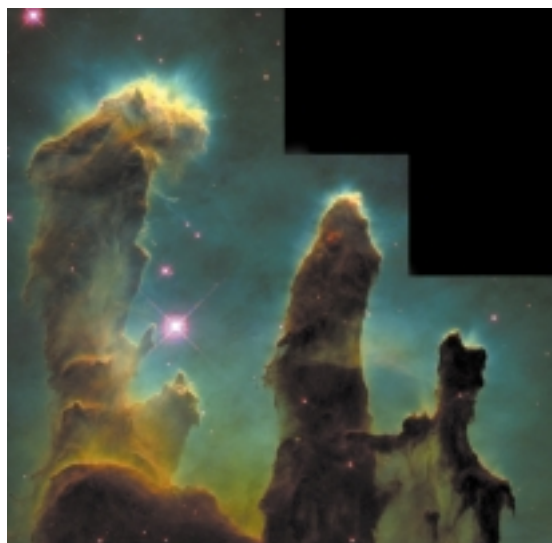
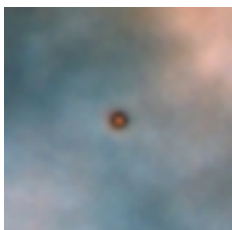
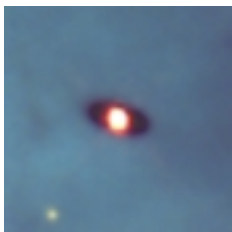
# Formation

des étoiles

La formation stellaire suscite chez le profane une fascination qui n'a d'égale que celle qu'elle exerce sur les astronomes. En effet, derrière la poussière des nuages de molécules dans lesquels se forment les étoiles se cachent des indices de taille sur notre propre genèse. La Terre et le système solaire sont apparus il y a 4,6 milliards d'années dans des circonstances dont nous savons peu de choses. Aussi les astronomes braquent-ils leurs regards sur d'autres étoiles et systèmes stellaires en formation dans les « pouponnières » stellaires les plus proches ; ils s'en servent comme de machines à remonter le temps pour assister à une nouvelle projection des événements qui ont donné naissance à notre système solaire.

Hans Zinnecker  
Astrophysicien, Institut d'Astrophysique de Potsdam

*Dans le domaine de la formation des étoiles, Hubble a eu un formidable impact : tout d'abord, il a permis d'étudier la formation d'étoiles semblables à notre Soleil et, littéralement, de voir des disques de poussière susceptibles de devenir de futurs systèmes planétaires. De plus, il a eu des conséquences dans une discipline que l'on pourrait appeler la « formation stellaire cosmologique », à savoir la formation des étoiles à l'échelle de l'Univers. Le champ profond Hubble Deep Field North a ouvert le coffre au trésor et nous a permis de suivre l'historique de la formation des étoiles à travers tout l'Univers, et ainsi d'appréhender « l'évolution cosmique » des étoiles.*



La nébuleuse de l'Angèle, M16.

La grande mosaïque, composée de 15 images prises par Hubble, montrant le cœur de la nébuleuse d'Orion est l'une des images les plus détaillées d'une pouponnière d'étoiles que l'on possède à ce jour. On y voit un amas d'étoiles jeunes soufflant une « bulle » dans les restes de leur nuage géniteur – comme lorsque les volutes de fumée d'un incendie sont dispersés par la chaleur - de sorte que les étoiles commencent à être observables dans la lumière visible.

Le surprenant pouvoir de séparation de Hubble, bien supérieur à celui des télescopes basés au sol, a été capital dans l'étude des disques de poussière qui entourent les étoiles jeunes de la nébuleuse d'Orion. Ces disques pourraient parfaitement être de jeunes systèmes planétaires au tout premier stade de leur formation. Grâce à Hubble, nous avons aujourd'hui la preuve tangible de ce que les disques de poussières sont chose commune autour des étoiles jeunes.

Étant donné que la naissance des étoiles semble toujours se dérouler dans des nuages de poussière, les capacités d'observation de Hubble dans l'infrarouge ont été déterminantes. L'instrument infrarouge NICMOS se joue de la poussière et révèle les processus complexes qui se déroulent dans les régions de formation d'étoiles. NICMOS a pu détecter des systèmes doubles ou multiples, invisibles à tout autre œil que le sien, ainsi que les compagnons nains bruns substellaires de faible éclat. Avec NICMOS et son homologue dans le visible, WFPC2, Hubble a observé le fantastique spectacle de jets de matière géants crachés par des étoiles aux tous premiers stades de leur vie, entourées de vastes disques de poussière.

# Composition de l'Univers

*La composition chimique de l'Univers et la nature physique de la matière qui le constitue sont des sujets que les chercheurs étudient depuis des siècles. De son poste d'observation sans équivalent puisque situé au-delà de l'atmosphère terrestre, Hubble a contribué de façon significative à faire progresser nos connaissances dans ce domaine.*

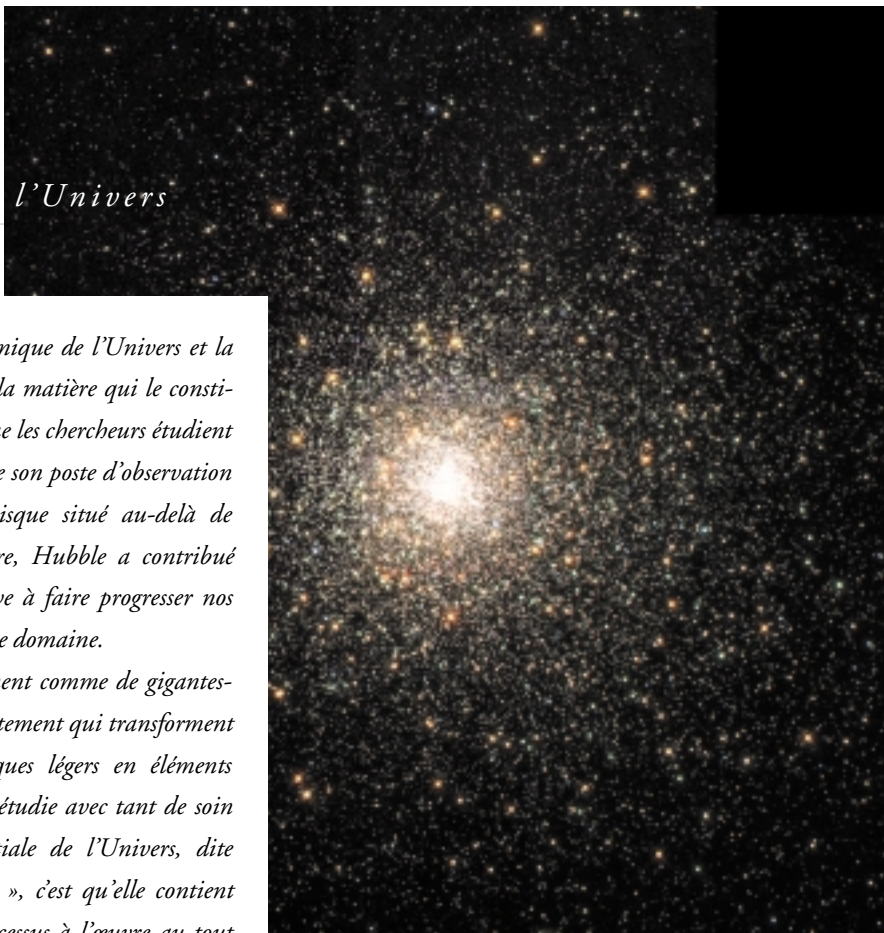
*Les étoiles fonctionnent comme de gigantesques usines de retraitement qui transforment les éléments chimiques légers en éléments plus lourds. Si l'on étudie avec tant de soin la composition initiale de l'Univers, dite aussi « primordiale », c'est qu'elle contient une des clefs des processus à l'œuvre au tout début de l'Univers.*

L'hélium dans l'Univers primordial  
Peu après que la première mission de maintenance a eu permis de corriger l'aberration sphérique du miroir de Hubble, une équipe dirigée par l'astronome européen Peter Jakobsen a étudié la nature de la matière gazeuse qui emplit les vastes espaces intergalactiques. En observant la lumière ultraviolette d'un quasar distant (qui aurait autrement été absorbée par l'atmosphère terrestre), cette équipe, mettant fin à une longue quête, a repéré la signature spectrale de l'hélium dans l'Univers primordial. Il s'agissait là d'un indice important qui con-

forte la théorie du Big Bang. Il confirme également l'hypothèse selon laquelle dans l'Univers primordial la matière non encore piégée dans les étoiles et galaxies est presque entièrement ionisée (atomes dépouillés de leurs électrons), ce qui représente un grand pas pour la cosmologie.

Les quasars : des phares

L'étude de l'hélium primordial est l'une des nombreuses occasions où Hubble s'est servi de quasars éloignés comme s'il s'agissait de phares : lorsque la lumière des quasars passe à travers la matière intergalactique, la



Anna Gribulairz, M80.



Peter Jakobsen

Astronome de l'ESA, Responsable scientifique de l'étude NGST

*Je crois que nous avons maintenant une assez bonne idée de la quantité de matière « normale » existant dans l'Univers et de sa composition. En remontant toujours plus loin dans le temps, nous commençons à reconstituer l'histoire de cette matière depuis qu'elle a émergé du Big Bang et qu'elle s'est amalgamée en étoiles et galaxies pour donner l'Univers actuel. Hubble a levé un grand pan du voile. Avec le Télescope Spatial de Prochaine Génération, nous espérons pouvoir remonter à des époques plus reculées encore et observer l'apparition des toutes premières étoiles.*

modification caractéristique qu'elle subit trahit la composition du gaz traversé. Les résultats obtenus ont mis en place des pièces importantes du puzzle de la composition globale de l'Univers, maintenant et par le passé.

#### Matière noire

Aujourd'hui, les astronomes estiment que près de 95% de la masse de l'Univers se compose de matière noire, substance entièrement différente de la matière ordinaire qui compose les atomes et notre monde familier. Hubble a joué un rôle important dans les travaux destinés à établir la quantité de matière noire existant dans l'Univers et à déterminer sa composition. L'énigme de cette fantomatique matière noire est encore loin d'être résolue mais l'incroyable précision avec laquelle Hubble a par exemple observé les lentilles gravitationnelles (voir page 32-33) pose le fondement des futurs travaux dans ce domaine.



Nébuluse du Sagittaire.

# Matière

# Lentilles

*gravitationnelles*

La lumière ne se propage pas toujours en ligne droite. Dans sa Théorie de la relativité générale, Einstein prédisait que les objets massifs déformaient la structure même de l'espace. Lorsque la lumière passe devant un tel objet, un amas galactique par exemple, sa trajectoire est légèrement déviée. Ce phénomène de lentille gravitationnelle n'est visible que dans de rares cas et seuls les meilleurs télescopes sont en mesure de l'observer.

La sensibilité et le pouvoir de séparation de Hubble lui permettent de distinguer des lentilles gravitationnelles faibles et lointaines que ne peuvent discerner les télescopes basés au sol, dont la vue est brouillée par l'atmosphère terrestre. L'effet de lentille gravitationnelle se manifeste sous la forme de multiples images de la galaxie initiale, chacune présentant une déformation caractéristique en arc de cercle.

Hubble est le premier télescope à avoir pu distinguer des détails à l'intérieur de ces multiples arcs. Son pouvoir de séparation lui permet de déceler directement la forme et la structure interne des galaxies à l'origine de ces mirages gravitationnels de sorte qu'il devient facile de retrouver sur ses images les différents arcs correspondant à la même source.

Étant donné que l'ampleur de l'effet de lentille gravitationnelle dépend de la masse totale de l'amas, cet effet peut servir à calculer cette masse, découverte qui a considérablement amélioré notre connaissance de la répartition de la matière noire « cachée » dans les amas galactiques et donc dans l'Univers en totalité.

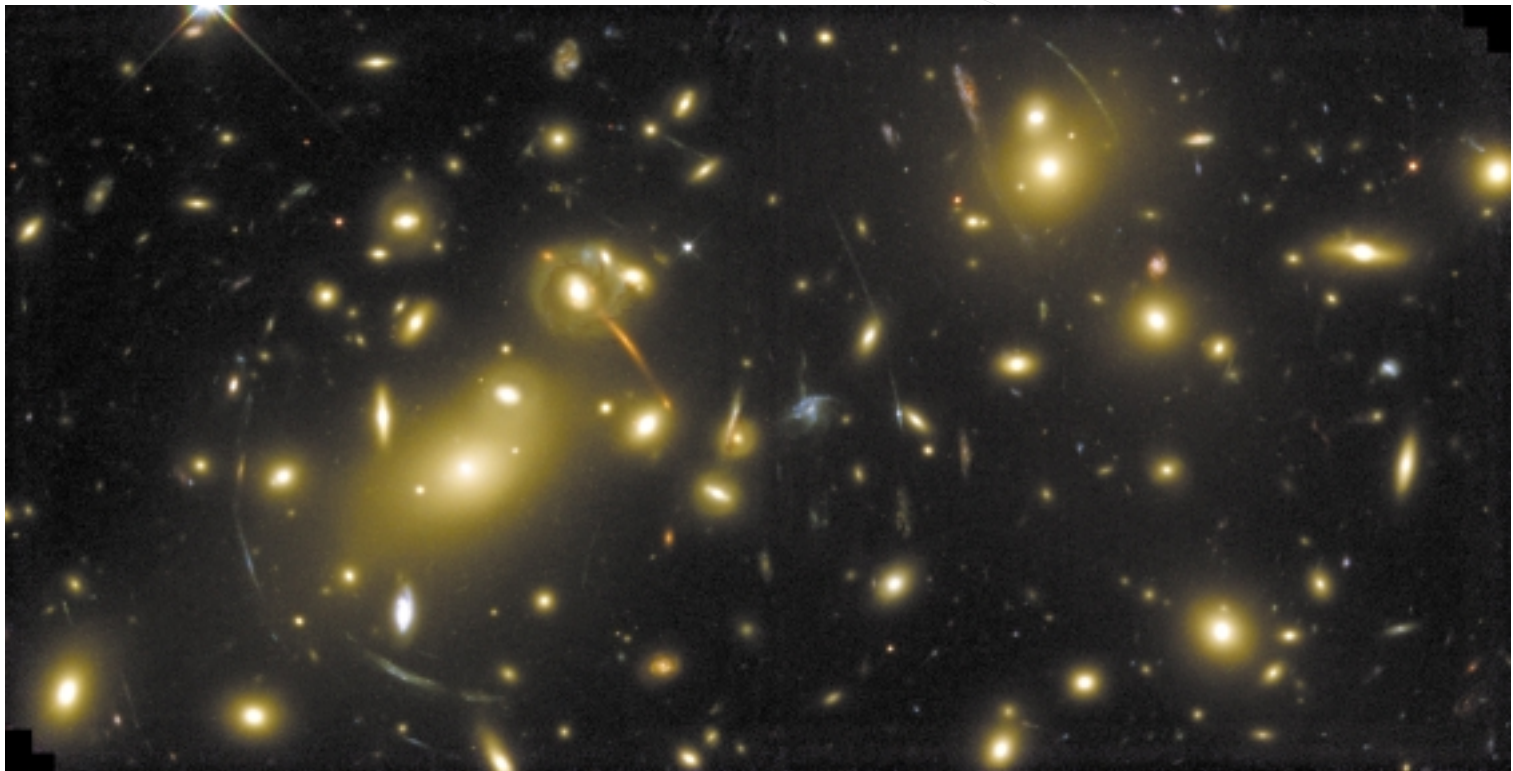
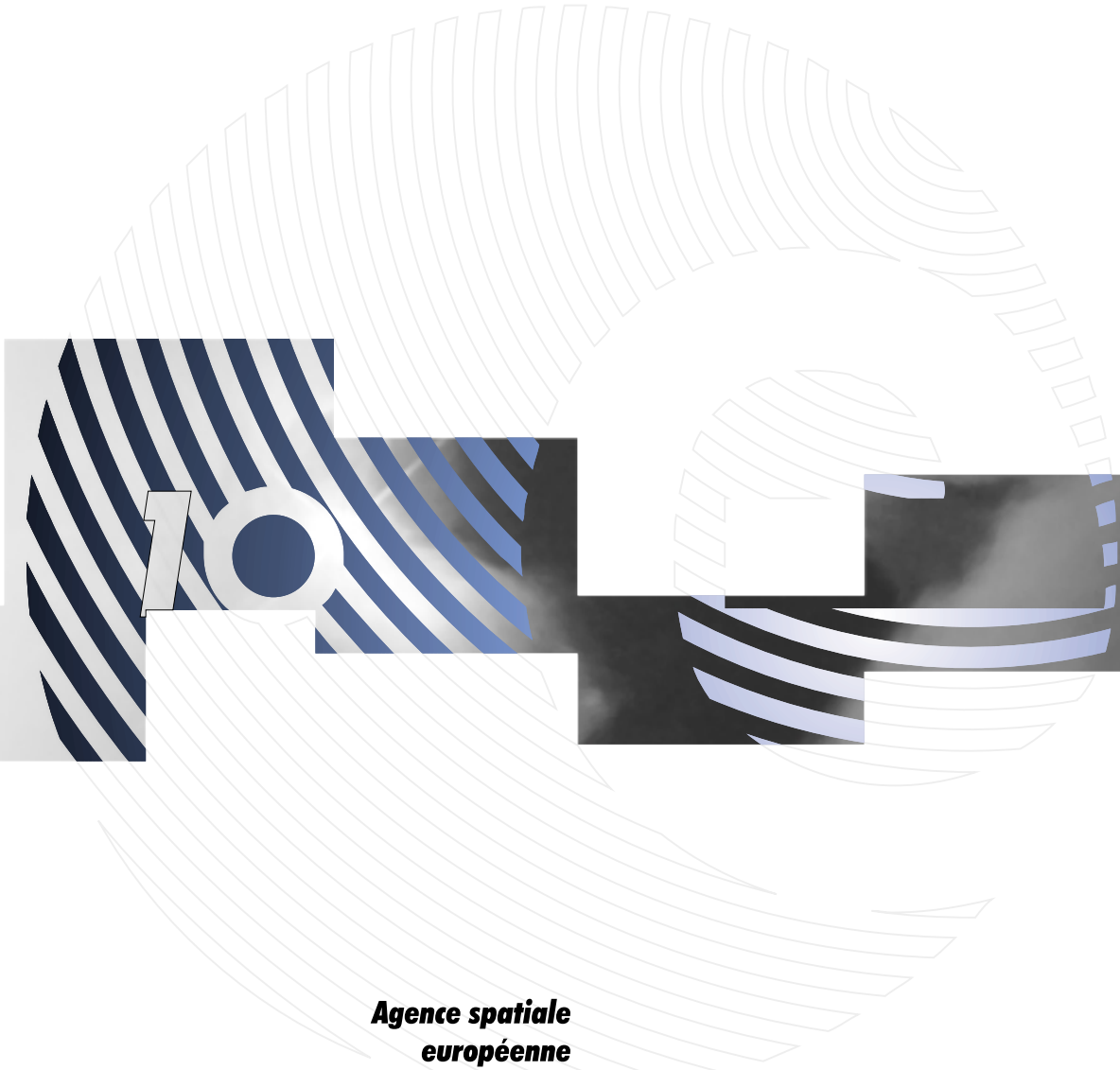


Image d'un groupement d'ars gravitationnels dans l'amas Abell 2218.

Richard Ellis  
Astronome, Université de Cambridge et Institut de Technologie de Californie

*En 1995, lorsque nous avons procédé à la première observation avec Hubble de l'amas galactique Abell 2218, notre objectif était d'étudier l'amas et ses galaxies. Quelle n'a pas été notre surprise en voyant sur les images ultraprécises de Hubble des dizaines et des dizaines d'ars gravitationnels. Les astronomes ont tout de suite saisi l'intérêt d'utiliser le phénomène de lentille gravitationnelle comme un outil cosmologique.*



**Agence spatiale  
européenne**

**Contact : Division Publications de l'ESA**  
c/o ESTEC, PO Box 299, 2200 AG Noordwijk, Pays-Bas  
Tel. (31) 71 565 3400 - Fax (31) 71 565 5433

Pages web sur Hubble du Centre d'information de l'ESA  
<http://hubble.esa.int>  
Pages web sur les activités scientifiques de l'ESA  
<http://sci.esa.int>