

## L'astronomie dans le monde

### ***Pas de « masse manquante » dans les galaxies spirales opaques?***

(European Southern Observatory, Press Release PR07/90)

Une étude des galaxies spirales, menée à l'ESO depuis presque une décennie, vient d'aboutir à d'étranges conclusions relatives à la présence de matière obscure dans l'Univers. Elles ont des conséquences directes sur le problème de la « masse manquante », l'une des plus grandes énigmes de l'astronomie.

#### **1. L'atlas ESO**

En 1972 l'ESO entamait la production du premier atlas photographique moderne du ciel austral. Depuis, plus de 1200 plaques grand format ont été obtenues en lumière bleue au télescope Schmidt de 1m de l'ESO; les 606 meilleures d'entre elles constituent le matériel de base de l'« ESO Quick Blue Atlas of the Southern Sky » terminé en 1980. Cet atlas montre des objets jusqu'à cent fois plus faibles que les précédents et, comme on pouvait s'y attendre, de nombreuses découvertes intéressantes ont été faites.

Un catalogue de plus de 16.000 galaxies brillantes, d'amas stellaires et de nébuleuses galactiques a été compilé par l'astronome suédois Andris Lauberts après une inspection visuelle minutieuse des clichés. Il a été publié par l'ESO en 1982 et il contient la première classification systématique par type (elliptiques, spirales, irrégulières) de galaxies australes.

#### **2. La mesure précise de 15.000 galaxies australes**

En 1982 Andris Lauberts et l'astronome hollandais Edwin Valentijn s'attaquaient à un projet encore plus ambitieux. A l'aide d'un microphotomètre de précision au centre de

l'ESO à Garching (RFA), ils mesurèrent les images de 15.647 galaxies du catalogue. Ils firent ensuite de même sur des plaques rouges obtenues également au télescope Schmidt de l'ESO. De cette façon les images étaient transformées en séries de nombres et enregistrées dans un ordinateur. La base de données ainsi constituée atteint plus de 4 Gigabytes. Elle a été copiée sur disques optiques, ce qui permet d'afficher instantanément les images bleues ou rouges des galaxies. C'est évidemment un outil très efficace dans de nombreuses recherches astronomiques.

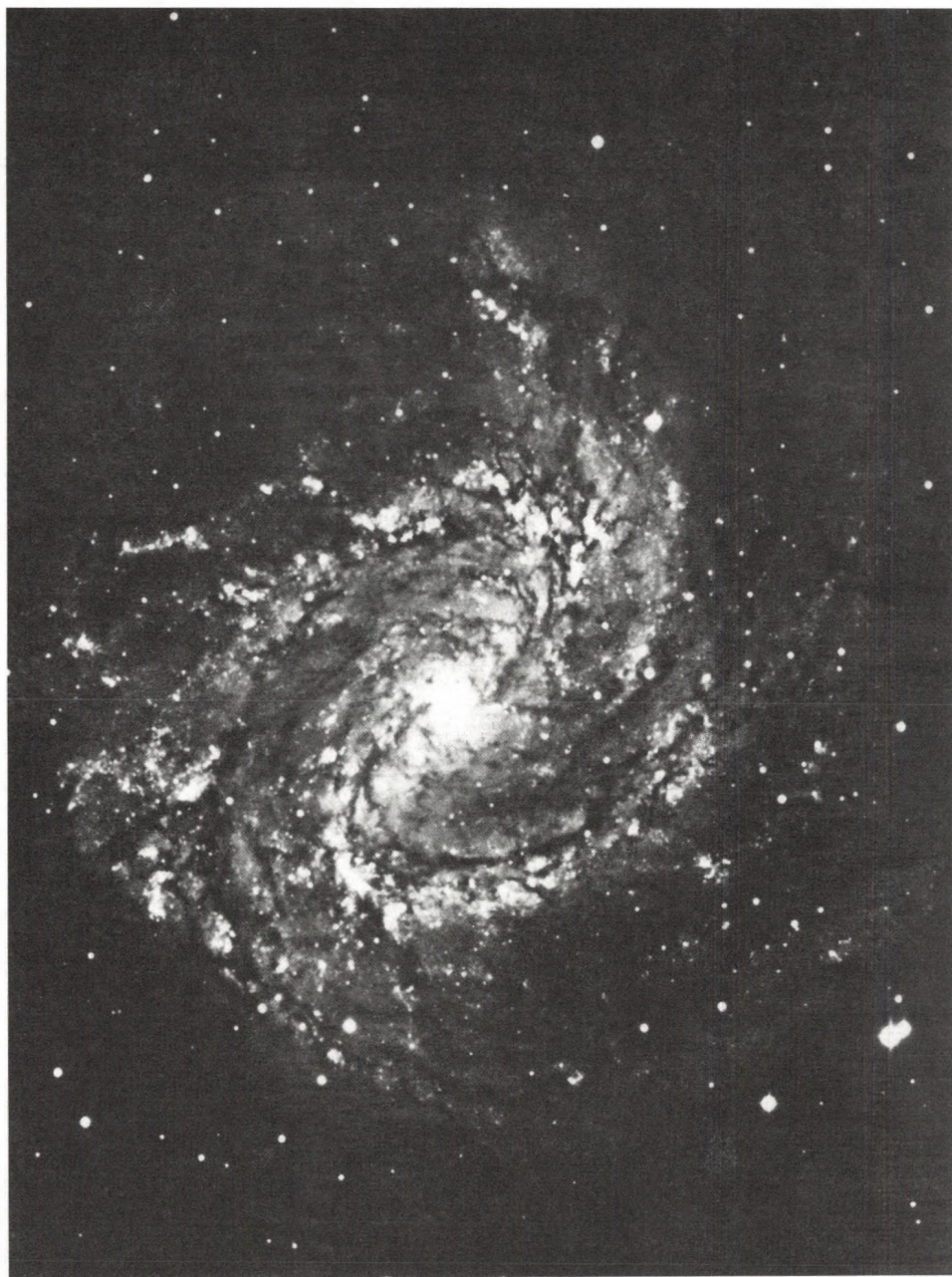
A l'aide de programmes spécifiques, chaque galaxie a été automatiquement analysée et classée selon son type, sa brillance, sa couleur, sa taille, son orientation, etc..., en tout environ 200 paramètres.

#### **3. Les galaxies spirales opaques**

Des résultats nouveaux et excitants ont été obtenus par Edwin Valentijn à partir de l'étude de 9.381 spirales répertoriées dans cette classification.

Il analysa tout d'abord la distribution de l'intensité en chaque point des galaxies, en fonction de leur inclinaison sur le plan du ciel (depuis la vue de face où ces galaxies apparaissent comme de belles spirales, jusqu'à la vue de profil où elles ont l'aspect d'un fuseau). A partir de cette relation, on peut déduire l'opacité, c'est-à-dire la façon dont les galaxies absorbent la lumière que les traverse.

A sa grande surprise, et contrairement à l'idée conventionnelle que les galaxies spirales sont assez transparentes, Valentijn constata qu'elles sont très opaques, et contiennent par conséquent beaucoup plus de nuages de matière interstellaire que ce que l'on croyait. La lumière des étoiles de ces galaxies pénètre difficilement ce brouillard.



La galaxie NGC5236, M83, est la plus proche des galaxies de type Sbc parmi les 9.381 spirales étudiées par Lauberts et Valentijn. Elle contient beaucoup plus de matière absorbante que ce que l'on croyait. (Cliché ESO, télescope de 3m60)

Plus important, une comparaison avec des mesures faites par un satellite infrarouge, IRAS, indique que ces nuages sont très froids, en-dessous de 20 kelvins. Ce sont certainement des « nuages moléculaires », tels que ceux que l'on observe dans notre propre Galaxie.

Ces nuages sont trop froids et sombres pour être vus directement, mais l'on sait, à partir des études dans notre Galaxie, qu'ils sont constitués en majeure partie d'hydrogène moléculaire ( $H_2$ ) lui-même très difficilement observable.

#### 4. La masse manquante?

La masse d'une galaxie peut être estimée par l'étude détaillée des mouvements de ses étoiles, amas d'étoiles, ou nuages de gaz (ceux qui sont observables par l'émission de l'hydrogène atomique, par exemple). C'est l'effet Doppler qui est utilisé à cette fin. Plus les mouvements sont rapides, plus massive est la galaxie (pour la simple raison que l'attraction gravifique est plus forte et doit être contrée par des mouvements orbitaux plus rapides). Dans la plupart des cas où cette mesure avait été faite, on avait trouvé que la masse était bien plus grande que celle que l'on obtenait en combinant les masses des étoiles et de la matière interstellaire visibles. On en avait conclu qu'une grande partie de la masse n'était pas visible. De là l'expression de « masse manquante ».

Il y a eu de nombreuses tentatives d'explication. Certains pensent que les galaxies sont entourées de halos géants de gaz très chaud, invisible avec les instruments actuels. D'autres ont proposé que cette masse était due à la présence de particules élémentaires exotiques comme les neutrinos, ou encore des « cordes cosmiques ».

Mais si les spirales contiennent bien plus de matière interstellaire que ce que l'on pensait, peut-être n'y a-t-il pas de masse manquante?

Pour en avoir le cœur net, Valentijn et l'astronome espagnol Ignacio Gonzalez-Serrano ont étudié une demi-douzaine des spirales présentant le plus grand déficit de masse. Dans chaque cas il ont pu montrer que la masse « manquante » est exactement égale

à celle des nuages obscurs décelés par l'analyse de l'opacité. Il ne faut donc plus y invoquer ce manque.

Cela ne veut pas dire que le problème est réglé définitivement. Il faut étudier plus en détail la composition des nuages moléculaires, au moyen d'observations radio de molécules telles que le monoxyde de carbone. Le travail de Valentijn indique cependant qu'il n'est pas nécessaire de faire appel à des théories exotiques pour trouver une explication à la masse manquante. Notons qu'il y a aussi de la masse manquante dans les galaxies elliptiques et les amas de galaxies, mais ces objets ne faisaient pas partie de l'étude en question.

#### 5. La Voie Lactée

Notre Galaxie, la Voie Lactée, est une spirale typique. On peut donc se poser la question de son opacité et voir ce qu'il en est de la masse manquante plus près de chez nous.

Pour cela, Valentijn s'est à nouveau servi de l'ordinateur. Il répertoria 60.000 galaxies très faibles situées dans les mêmes directions, mais beaucoup plus loin que les 16.000 dont nous avons parlé. Un simple comptage de tous ces astres montre que beaucoup plus de galaxies sont situées au-dessus du plan de la Galaxie (hémisphère galactique nord) qu'en-dessous, et cela par une marge de soixante pour cent.

Il y a deux explications possibles à ce phénomène. Soit la répartition des galaxies dans l'Univers n'est pas uniforme dans des domaines de plusieurs milliards d'années-lumière. Mais cela semble peu probable selon la cosmologie moderne. Ou bien cette disparité reflète la position de notre Soleil par rapport au plan de la Voie Lactée : il est situé à environ quarante années-lumière au nord de ce plan. Dans ce cas, si notre Galaxie est aussi opaque que les spirales de même type, l'absorption interstellaire dans la Voie lactée doit être plus importante au sud qu'au nord, et l'on doit observer plus de galaxies lointaines au nord qu'au sud. Ce résultat est donc en accord avec l'idée que notre galaxie est plus opaque que ce que l'on croyait. Remarquons ici que la présence de nuages moléculaires est difficile à mettre en évidence par l'étude conventionnelle de l'absorption interstellaire. Cette étude

se base sur le rougissement de la lumière qui traverse les bancs de poussières. Or les nuages moléculaires bloquent totalement la lumière.

De nouvelles observations, et particulièrement dans l'hémisphère austral (par exemple au télescope millimétrique SEST de l'ESO), devraient aider à éclaircir ces questions.

## *L'âge de l'univers*

Une des méthodes permettant d'évaluer l'âge des astres est d'analyser l'abondance de certains éléments radioactifs. Ceux qui se désintègrent avec une période suffisamment longue peuvent servir d'horloge. Encore faut-il avoir une bonne estimation de l'abondance qu'auraient ces éléments s'ils ne se désintégraient pas, pour pouvoir effectuer la comparaison.

Un isotope du thorium se prête assez bien à cette opération lorsque l'on veut étudier l'âge des étoiles. On peut en mesurer la concentration par l'observation d'une raie du thorium ionisé dans leur spectre d'absorption. Les théories expliquant la formation des éléments au sein des étoiles permettent de relier l'abondance du thorium à celle d'un autre élément — bien stable celui-là, et répertorié sous le numéro 60 dans le tableau de Mendeleïev, dans la famille des lanthanides — le néodyme, que l'on observe également.

Des premières études on avait déduit que l'âge des plus vieilles étoiles, et donc de la Galaxie, était à peine de dix milliards d'années. Ce résultat n'était pas sans susciter quelques critiques car les estimations basées sur d'autres critères donnaient un âge bien plus grand.

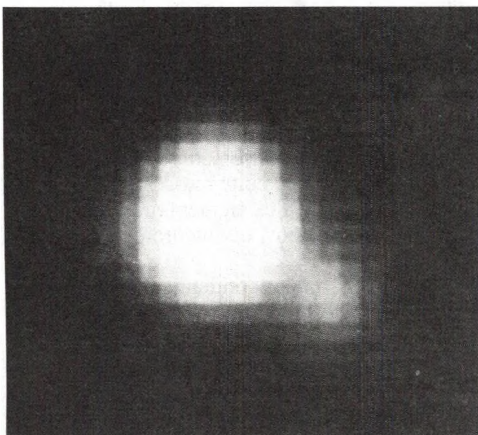
Pour résoudre le dilemme un astronome de l'Institut d'Astrophysique de Liège, Nicolas Grevesse, et deux collègues américains, J.E. Lawler et W. Whaling, ont repris l'étude de l'abondance du thorium. Ils ont constaté que la mesure de la raie d'absorption du thorium ionisé était perturbée par la présence d'une raie du cobalt neutre à la même longueur d'onde (l'écart en longueur d'onde est de l'ordre de trois millièmes d'Angströms!). L'abondance de thorium devait donc être revue à la baisse.

Le problème est très complexe car il faut maintenant estimer la contribution du cobalt pour pouvoir faire fonctionner l'horloge thorium-néodyme. Les causes d'erreurs sont multiples, mais après calculs, les astronomes concluent en faveur d'un âge galactique de l'ordre de 15 à 20 milliards d'années, en bien meilleur accord avec les autres évaluations.

## *Pluton par le CFHT*

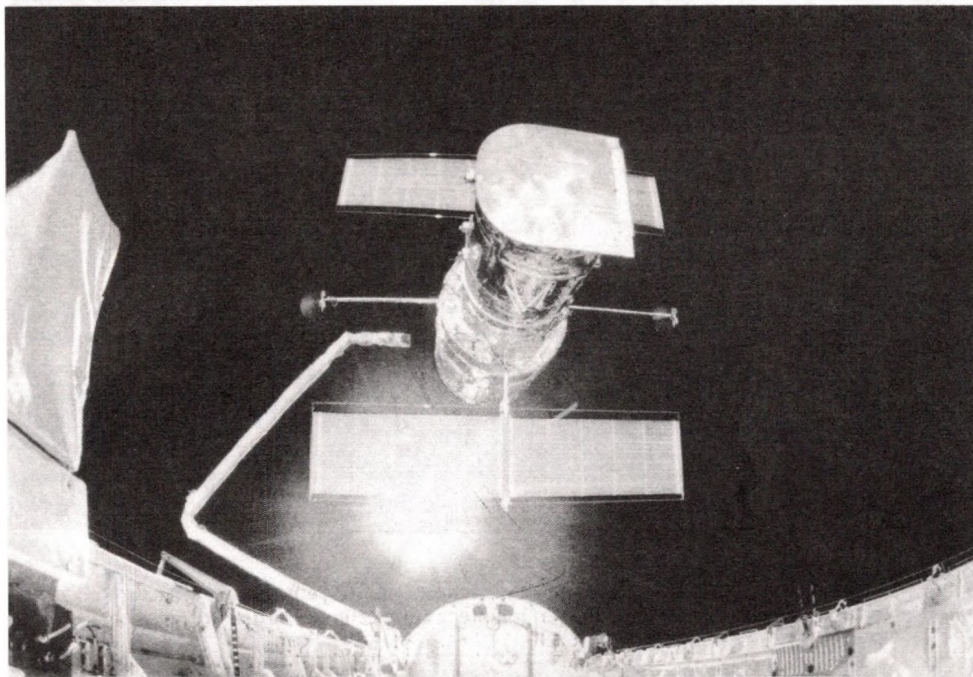
Le CFHT (Canada-France-Hawaii Telescope) a été conçu pour donner les meilleures images possibles depuis le sol. Les plus grandes précautions ont été prises, aux niveaux de la coupole, du bâtiment et du site, pour s'affranchir au mieux de cet ennemi juré des astronomes que constitue la turbulence de l'air.

Les résultats n'ont pas déçu, et ce télescope de 3m60 a été à l'origine de remarquables images. Le cliché ci-joint nous montre distinctement Pluton et son satellite, observés par une nouvelle caméra CCD installée au foyer du CFHT. La résolution est un peu meilleure que la demi seconde d'arc. La planète et son satellite sont séparées de 0,88 secondes. On peut évaluer les progrès faits par les instruments d'observation, si l'on se souvient qu'il n'y a pas bien longtemps que l'on a découvert ce satellite qui maintenant saute aux yeux.



Pluton et son satellite Charon. (Cliché Canada-France-Hawaii Telescope)

## Hubble Space Telescope



Le Space Telescope est débarqué de la navette *Discovery* le 25 avril 1990. (Cliché NASA)

Nous présentons ici quelques photographies illustrant la fabrication du miroir fautif du Hubble Space Telescope. Il est maintenant établi que c'est une erreur de 1,3mm dans l'espacement de pièces optiques dans un appareil de contrôle qui est à l'origine de l'aberration chromatique du miroir de 2m40. Cette pièce servait pour tester la forme du miroir (un peu comme le test de Foucault bien

connu des amateurs). Comble de malchance, un second instrument de test — basé sur un principe différent afin de permettre une mesure indépendante — avait été utilisé également, et il avait révélé l'aberration du miroir. Malheureusement les techniciens semblaient avoir une confiance absolue dans l'autre méthode. Mal leur en pris.

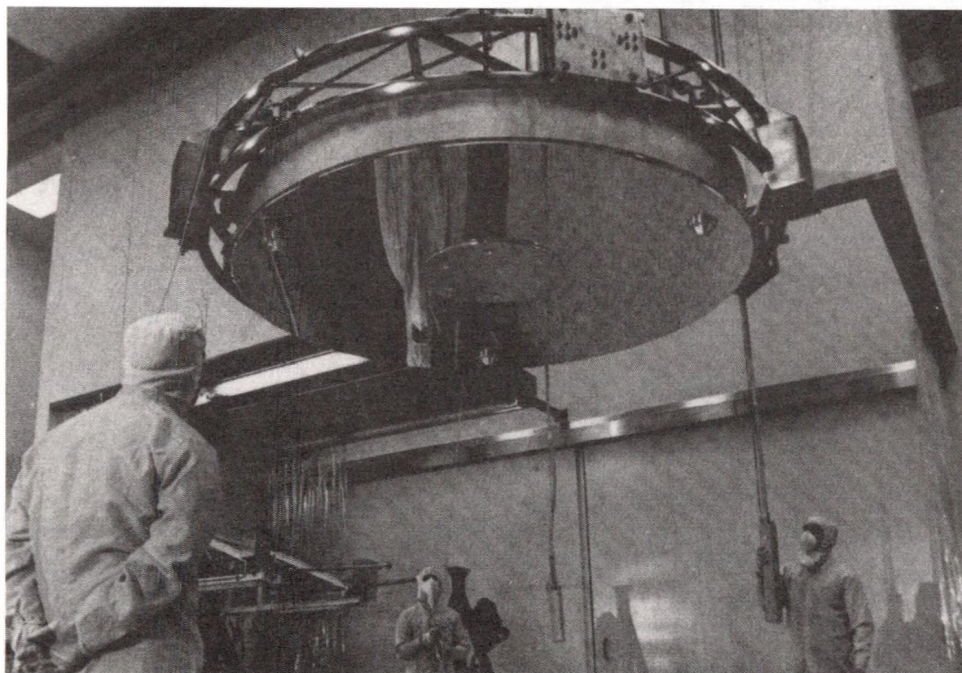


**Le miroir principal du HST est examiné par des techniciens. On remarque la structure alvéolée qui permet de réduire la masse totale tout en maintenant une rigidité suffisante.**

A cause de ce défaut minime de l'instrument de contrôle, la forme générale du miroir est différente de celle qui était spécifiée au cahier des charges. L'écart se compte en longueurs d'onde entières, alors que les amateurs qui construisent leur télescope eux-mêmes atteignent des précisions du dixième de longueur d'onde, et moins. Même les télescopes du commerce les plus médiocres ont rarement des défauts aussi prononcés. Cependant, mal-

gré cette forme incorrecte, le poli du miroir du HST est incomparable.

L'effet de l'aberration sphérique sur les performances du HST a déjà été illustré à plusieurs reprises et de diverses manières (voir par exemple *Le Ciel* de septembre, page 220). C'est cependant avec des images (réelles, ou simulées) que l'on se rend le mieux compte des défauts de l'optique.



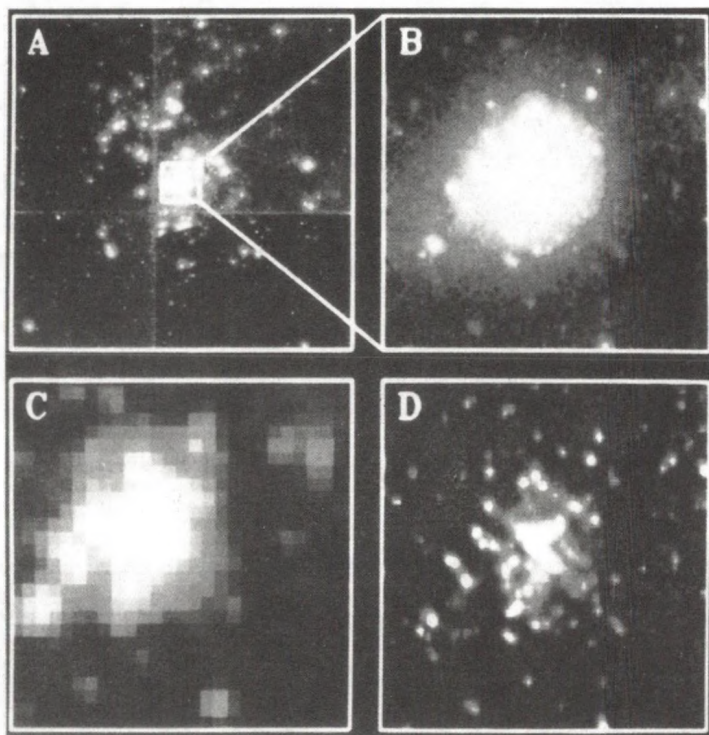
Après avoir reçu sa couche réfléchissante, le miroir du HST est traité avec les plus grands soins.



Trois vues simulées d'une région de l'amas d'Hercule M13 : depuis le sol, depuis le HST avec aberration, et sans aberration (voir texte).

Les trois images présentées au bas de la page précédente montrent comment un même champ d'étoiles (dans l'amas globulaire M13) serait observé dans les conditions suivantes : (de gauche à droite) depuis un excellent site terrestre donnant une résolution d'une demi seconde d'arc; depuis le HST en utilisant la « Planetary Camera », et compte tenu de l'aberration sphérique qui afflige l'instrument; et depuis le HST idéal, sans aberration.

Le piqué de la partie centrale des images données actuellement par le HST est remarquable, et l'on comprend aisément que bon nombre de programmes pourront en bénéficier et être ainsi réalisés dans de bonnes conditions. La perte en luminosité est cependant considérable, les rayons utiles ne provenant que d'une surface équivalente à celle d'un télescope de moins d'un mètre de diamètre.



Malgré les problèmes qui s'acharnent sur le télescope, le travail scientifique effectif a commencé. La Planetary Camera du Hubble Space Telescope a été pointée le 3 août dans le Grand Nuage de Magellan, fournissant la meilleure image jamais obtenue jusqu'ici de l'amas R136 (voir texte).

Un mètre de diamètre, ce n'est pas grand chose, et il est triste de penser qu'avec simplement une fraction du gigantesque budget du HST on aurait pu avoir depuis longtemps en orbite une escadrille de télescopes de cette dimension, bénéficiant d'un rendement bien supérieur, et d'une souplesse sans comparaison avec la lourdeur éphémère de l'administration du HST. Mais ce n'est plus le temps des regrets et, après être passé au plus bas, le moral des astronomes ne pouvait faire qu'une chose, remonter.

Les images d'une région active du Grand Nuage de Magellan, obtenues par le HST, viennent précisément leur redonner plus que de l'espoir en montrant une résolution encore inégalée depuis le sol.

C'est le 3 août que le Télescope Spatial « photographiait » un amas d'étoiles jeunes et chaudes situé dans la nébuleuse 30 Doradus (cadre A de l'image précédente). La région centrale, montrant un groupe compact appelé R136, est agrandie en B, et après traitement par ordinateur, les scientifiques produisaient le cadre B, où les noyaux stellaires ont des dimensions de l'ordre du dixième de seconde d'arc. En comparant B et D on peut constater la disparition du halo général créé par la fameuse aberration sphérique dont souffre Hubble.

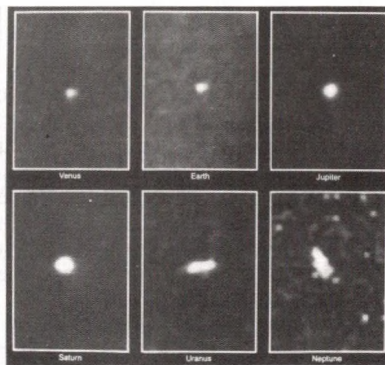
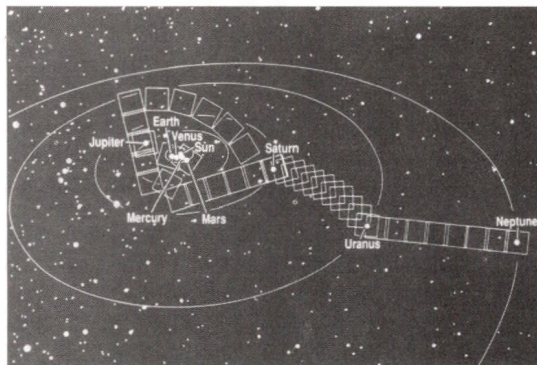
Cette image permet de préciser le contenu stellaire de R136 et de prévoir des observations spectroscopiques. A titre de compari-

son, l'image C a été obtenue du sol et montre une résolution de 0,6 seconde d'arc. Le progrès est donc sensible. Cela prouve que le HST, même en mauvaise santé, permet de faire de la science utile.

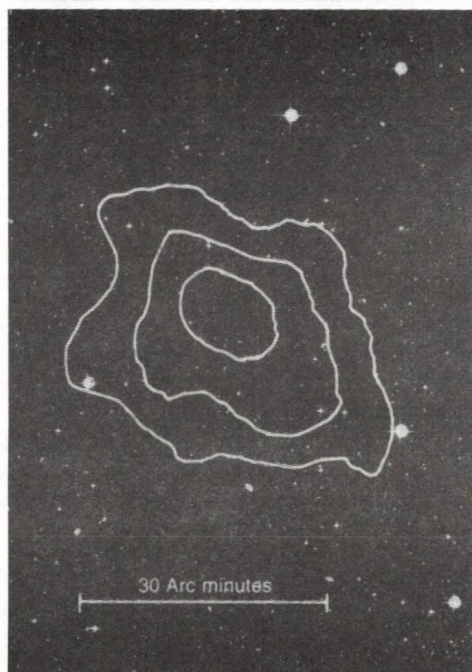
### ***Le système solaire vu du dehors***

Le système solaire, ou plutôt le Soleil et ses principales planètes, a été photographié par Voyager 2 depuis l'extérieur le 14 février 1990, alors que la sonde se trouvait à une distance de six milliards de kilomètres du Soleil, soit quarante fois la distance Terre-Soleil.

Les six planètes que Voyager a pu observer grâce aux caméras à longue focales apparaissent bien petites. Seules Saturne et Jupiter sont plus grosses qu'un point (un élément d'image électronique, ou « pixel »). Uranus et Neptune souffrent d'un bougé de quelques pixels. Pluton était trop faible pour être visible. Quand à Mercure et Mars, elles étaient perdues dans la luminosité du Soleil. La vue générale (adaptée d'une carte du ciel) représente les images que Voyager a prises successivement en balayant lentement le système solaire. Bien qu'affaibli par la distance, le Soleil apparaissait encore comme une étoile de magnitude -18, bien plus brillante que Sirius et les étoiles d'Orion visibles sur la carte.



## ***Un nouveau membre dans le Groupe Local des galaxies***



**Deux galaxies sphéroïdale naines du Groupe Local : à gauche la galaxie du Sculpteur; à droite la galaxie récemment découverte dans le Sextant.**

Notre Voie Lactée fait partie d'un petit amas que l'on nomme le Groupe Local et qui comprend aussi, parmi les plus connus de ses membres la galaxie d'Andromède, celle du Triangle, les Nuages de Magellan. Mais la plupart des galaxies de ce groupe sont de toutes petites entités telles la galaxie naine du Sculpteur représentée à gauche sur l'image ci-jointe, et six autres du même type que l'on dénomme « sphéroïdal nain ».

Une huitième galaxie de ce genre vient d'être découverte dans le Sextant, à partir de comptages d'étoiles sur des clichés Schmidt

pris au télescope anglais d'Australie. L'image de cette nouvelle galaxie est reproduite à la partie droite de la figure ci-jointe, et le moins que l'on puisse dire est qu'elle est très discrète. Il a fallu tracer les contours isophotométriques pour en montrer l'emplacement. Curieusement les galaxies sphéroïdales naines sont à peu près dans un même plan. Les astronomes pensent qu'il pourrait s'agir de débris provenant des Nuages de Magellan et arrachés lors des passages de ceux-ci au plus près de notre Galaxie.