

L'astronomie dans le monde

Amas globulaire et masse cachée

D'après HST News et
Space Science Short, Nov. 94

Les amas globulaires sont parmi les plus anciens objets de la Galaxie. On en connaît environ 150. Un grand nombre d'entre eux peuvent être admirés à l'aide d'un simple télescope d'amateur qui les fait apparaître comme des essaims compacts d'étoiles. Chacun de ces essaims contient des centaines de milliers d'étoiles rassemblées dans un rayon de 10 ou 20 années de lumière. La densité des étoiles au centre d'un amas est d'environ deux dans un cube d'une année lumière de côté. Par comparaison la densité au voisinage du Soleil est d'une étoile par 300 années lumière cube. Si le Soleil se trouvait au sein d'un amas comme 47 Toucan, la nuit serait baignée d'un perpétuel crépuscule dû à des milliers d'étoiles proches.

C'est Harlow Shapley qui, en mesurant la distance et la distribution des amas globulaires a pu déduire la distance du centre de la Galaxie dès 1918. Dans les années 30, Edwin Hubble découvrait les amas globulaires de la nébuleuse d'Andromède. Depuis on en a trouvé autour de nombreuses autres galaxies.

Les amas globulaires orbitent en tous sens autour des galaxies et occupent ainsi un énorme volume appelé le halo galactique. La plupart de amas peuvent s'éloigner à une centaine de milliers d'années lumière du centre galactique, mais certains d'entre eux s'échappent jusqu'à des distances trois fois plus grandes. Grâce à l'étude de ces orbites, les astronomes peuvent calculer l'attraction gravifique que la Galaxie exerce sur eux et, par conséquent, la masse de la Galaxie. On trouve ainsi une masse globale de 500 milliards de fois celles du Soleil. Cette estimation est bien supérieure à la masse combinée de toutes les étoiles que l'on peut distinguer, ce qui implique l'existence d'une matière sombre, invisible, dans la Galaxie, la « masse manquante ».

Quand l'on compare le Soleil avec les

étoiles d'amas globulaires, celles-ci montrent une absence d'éléments chimiques lourds, ce qui est caractéristique d'étoiles très vieilles, qui se sont condensées tout au début de la formation de la Galaxie. Quelques amas (20%), cependant, sont légèrement plus riches en éléments lourds, et sont donc vraisemblablement plus jeunes. Mais toutes les étoiles d'un même amas ont à peu près la même composition chimique, et donc une origine commune.

La photo ci-après, prise par le Hubble Space Telescope (HST), montre un des amas globulaire de notre Galaxie, observé avec une résolution inégalée. NGC 6397, dans la constellation australe Ara, a réservé une surprise de taille aux astronomes. Jusqu'à présent, ils pensaient que l'existence d'un grand nombre d'étoiles rouges très faibles, invisibles depuis pour les télescopes au sol, étaient la meilleure hypothèse pour expliquer la masse manquante. En effet, on s'était aperçu que le nombre d'étoiles rouges augmentait lorsque leur éclat intrinsèque diminuait. Si la tendance continuait pour les éclats extrêmement faibles, il pouvait y avoir suffisamment de petites étoiles pour rendre compte de la totalité de la masse manquante.

Le Space Telescope fournit un moyen de tester cette hypothèse car il permet d'observer des étoiles cent fois plus faibles que les télescopes classiques. Il permet aussi de les différencier très facilement des myriades de galaxies qui constituent l'élément majeur des clichés très profonds du ciel.

L'observation de l'amas globulaire NGC 6397 jette un sérieux doute sur l'abondance des étoiles très faibles. Sur le petit champ délimité dans le cliché, le HST n'observe que 200 étoiles. La densité stellaire est même si faible que l'on voit parfaitement au travers du halo de l'amas, et que l'on distingue des galaxies lointaines !

Si les modèles favorisant l'hypothèse des étoiles rouges avaient été corrects, le HST aurait dû observer quelque 500 étoiles dans ce même champ. On est loin de compte.

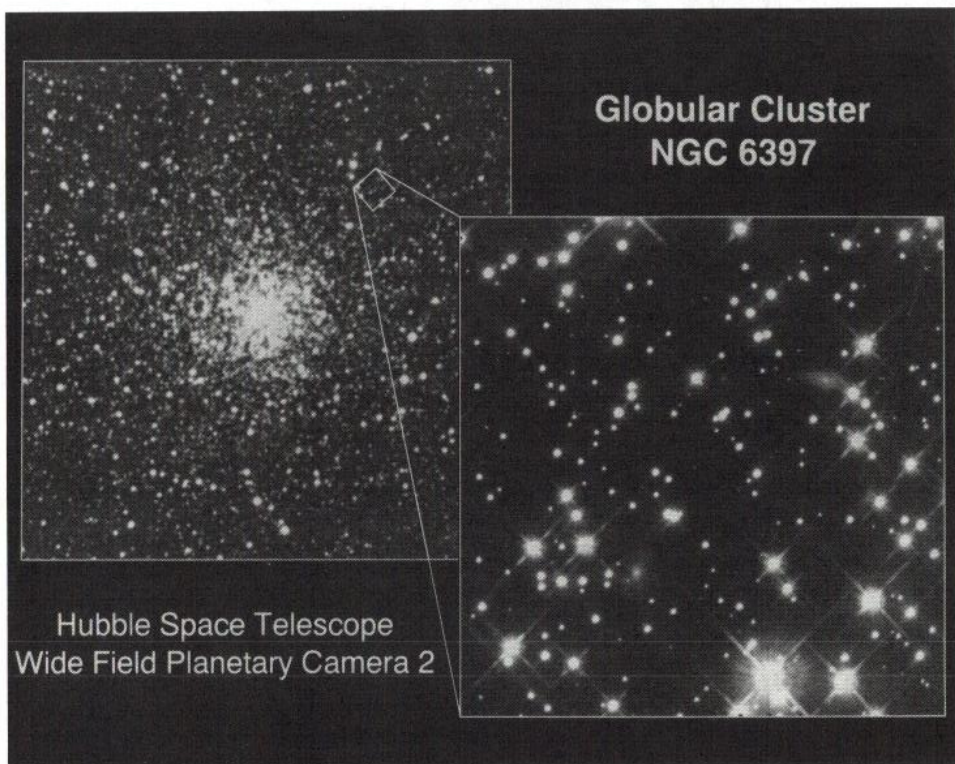
On en conclut qu'il n'y a guère de petites

étoiles moins massives qu'un cinquième de masse solaire. La théorie prévoit que les plus petites étoiles capables de rayonner par elles-mêmes ont une masse égale à huit pour cent de celle du Soleil. Mais il semble que la nature ne fabrique pas facilement d'astres aussi petits.

Confirmant ce résultat, d'autres images ont été prises, de notre Galaxie cette fois. Là aussi, on obtient le même défaut d'étoiles rouges faibles. La photo d'une région prise

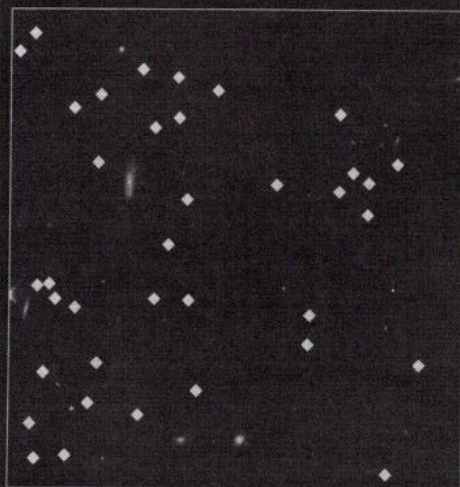
au hasard dans le halo galactique (page 62) montre quelques galaxies, mais pratiquement aucune étoile. Si les étoiles rouges avaient été en nombre suffisant pour constituer la masse manquante, on aurait dû voir environ 38 étoiles.

Il faut donc s'attacher à d'autres explications, comme des astres encore plus petits, ne brillant pas par eux-mêmes, ou de la matière dite exotique.



L'amas globulaire NDC 6397 par le Hubble Space Telescope. L'image de droite montre une petite région de 1,4 année lumière de large. La densité stellaire y est si faible qu'elle a obligé les astronomes à abandonner une explication très prometteuse de la masse manquante. (Crédit : F. Paresce et NASA)

Dark Matter Search



HST + Simulated Stars



HST

Hubble Space Telescope · Wide Field Planetary Camera 2

Recherche d'étoiles rouges et faibles dans le halo de la Galaxie. Le cliché de droite montre un champ pris par le Hubble Space Telescope dans le halo de la Galaxie (c'est-à-dire dans une direction ne pointant pas dans la Voie Lactée). Si les étoiles rouges avaient été en nombre suffisant pour constituer la masse manquante, on aurait dû voir environ 38 étoiles. (Crédit : J. Bahcall et NASA)

Galaxies primordiales

D'après HST News et
Space Science Short, Dec. 94

Utilisant le Hubble Space Telescope comme machine à remonter le temps, les astronomes ont obtenu des images exceptionnelles de galaxies lointaines, telles qu'elles étaient lorsque l'univers n'était âgé que d'une petite fraction de son âge actuel.

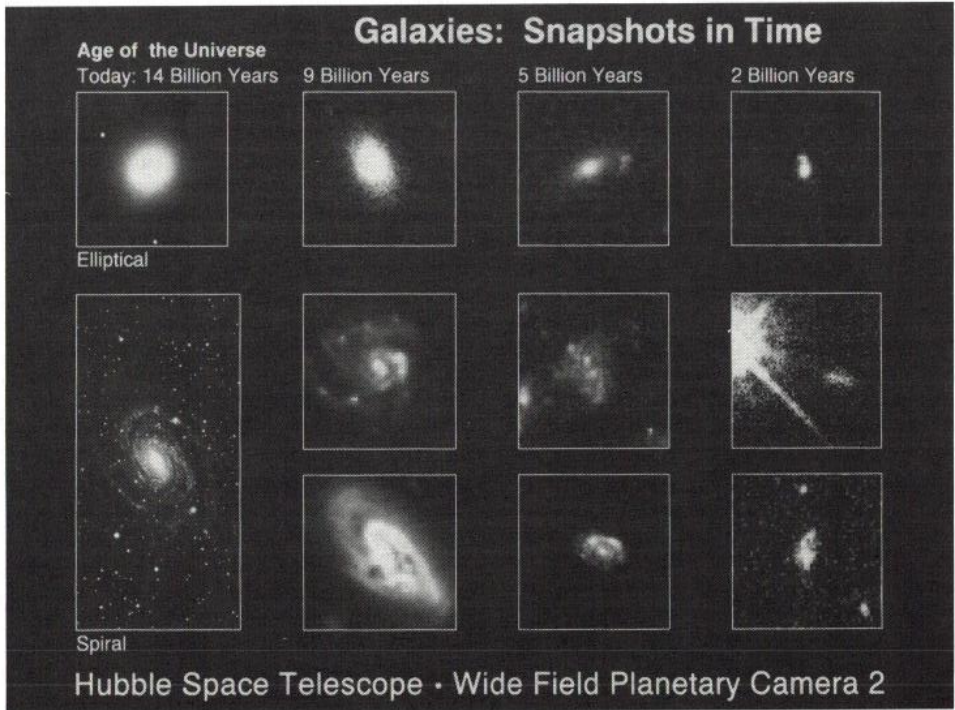
Une série d'images remarquables, s'étendant sur toute la vie de l'univers, nous offrent sans doute une des premières clefs de l'évolution des galaxies. Les résultats du Hubble Space Telescope (HST) suggèrent que les galaxies elliptiques ont rapidement développé la forme sous laquelle on les observe actuellement. Au contraire, les galaxies spirales qui existaient déjà dans les grands amas de galaxies ont évolué sur de beaucoup plus longues périodes. La plupart d'entre elles se sont formées puis déchirées sous l'influence dynamique d'un univers en lutte constante avec lui-même.

Les observations du HST jettent un doute sur certaines estimations de l'âge de l'univers, dont nous avons déjà fait mention, et qui seraient insuffisantes pour permettre aux galaxies de se former et d'évoluer au stade où le HST les observe.

Enthousiastes et surpris par ces premiers résultats, les astronomes espèrent que le

télescope spatial conduira à une meilleure compréhension de l'origine, de l'évolution et du destin final de l'univers.

De grandes premières ont été effectuées à cette occasion. Les astronomes ont identifié pour la première fois la première génération de galaxies primordiales formées durant le milliard d'années suivant le Big Bang.



Un album de galaxies. Ces images prises par le HST nous ouvrent de nouvelles perspectives sur l'évolution des galaxies.

Colonne de gauche : une elliptique et une spirale actuelle.

De la deuxième à la quatrième colonne, on peut voir des galaxies telles qu'elles étaient à des moments de plus en plus proches des débuts de l'univers.

Lorsque l'on remonte dans le temps, les elliptiques sont toujours bien définies, alors que les spirales sont difficiles à reconnaître. (Crédit : M. Dickinson et NASA)

L'une des images les plus profondes révèle un « zoo cosmique » très curieux, où l'on peut voir des fragments d'objets qui ont peut-être été les ancêtres de galaxies spirales semblables à notre Galaxie. D'autre part, une série d'images, montrant des galaxies à diverses époques, offre les preuves les plus évidentes à ce jour de l'évolution dynamique des galaxies, sous la pression des épisodes de formation stellaire, de collisions intergalactiques, et d'autres interactions entre galaxies.

Le paradoxe : des galaxies évoluées dans un univers jeune

Les récentes observations du HST montrent des galaxies elliptiques tout à fait normales dans deux amas extrêmement lointains. Ces galaxies ont donc dû se former peu de temps après le Big Bang, au début de l'univers. Ainsi la couleur rouge de certaines galaxies présentes dans un amas dont l'âge est à peine le tiers de celui de l'univers actuel indique une forte population d'étoiles relativement vieilles. Et l'on trouve le même résultat dans une galaxie dont l'âge n'est que le dixième de l'âge actuel du cosmos. Comment les galaxies peuvent-elles passer aussi vite au stade adulte ? C'est un problème cosmologique crucial. Il est clair que ces objets, des galaxies elliptiques, doivent s'assembler rapidement, atteindre leur forme actuelle extrêmement vite, et passer par une phase de formation stellaire très violente avant d'évoluer ensuite de façon passive.

Les galaxies elliptiques deviennent ainsi des laboratoires exceptionnels pour étudier la dynamique des étoiles. Les observations du HST viennent appuyer une théorie déjà ancienne (dite de la « relaxation violente ») expliquant comment un groupe d'étoiles peut se contracter rapidement en un amas dense.

Une ménagerie cosmique de galaxies étranges

Contrairement aux galaxies elliptiques qui paraissent stabilisées très tôt, les images du Hubble Space Telescope montrent que les galaxies spirales passent par des phases violentes de formation et de destruction. Dans l'une des plus longues poses jamais effectuées par le télescope (18 heures), on a pu observer d'étranges objets bleus et compacts,

vieux de neuf milliards d'années, et présentant toute une série de formes étranges, inconnues dans les galaxies actuelles. On ne peut totalement exclure quelque effet observationnel, par exemple la présence de zones de formation stellaire violente, et donc de forte luminosité dans le bleu et l'ultraviolet, qui pourrait déformer l'apparence des astres et nous empêcher de voir des spirales déjà bien formées. Il semble pourtant que l'aspect de cette faune primordiale soit bien réel. Et il est vraisemblable que c'est dans l'assemblage de tels fragments qu'il faut rechercher l'origine des galaxies spirales actuelles.

L'histoire violente des spirales

Alors que certaines images laissent entrevoir les mécanismes de formation des galaxies spirales, d'autres nous montrent comment celles-ci peuvent disparaître. Les amas anciens contiennent plus de galaxies spirales qu'actuellement, signe du sort funeste qui attend peut-être les sœurs de notre Galaxie évoluant dans des amas très peuplés.

Lorsque l'on regarde dans ces grands amas anciens, l'on observe des galaxies spirales distordues, et de nombreux fragments — ressemblant à des débris de galaxies — volant tout autour. Sans doute s'agit-il là des résultats de rencontres plus ou moins rapprochées entre galaxies. Les effets de marées engendrés par les forces gravitationnelles se chargeraient de détruire les structures fragiles que semblent être les galaxies spirales. D'autres phénomènes peuvent se charger de cette destruction cependant. Le gaz intergalactique très chaud, et à haute pression, qui baigne chaque amas de galaxies pourrait se charger de priver les galaxies spirales du gaz de leur disque, compromettant ainsi leur évolution future. On a aussi imaginé que la « matière cachée », d'une importance capitale pour stabiliser les disques de galaxies spirales, pourrait avoir été éliminée par quelque processus encore inconnu.

Heureusement pour notre Galaxie, ce genre de phénomène se produit préférentiellement dans les amas très peuplés, et notre amas local de deux douzaines de galaxies devrait y échapper.

Des amas primordiaux

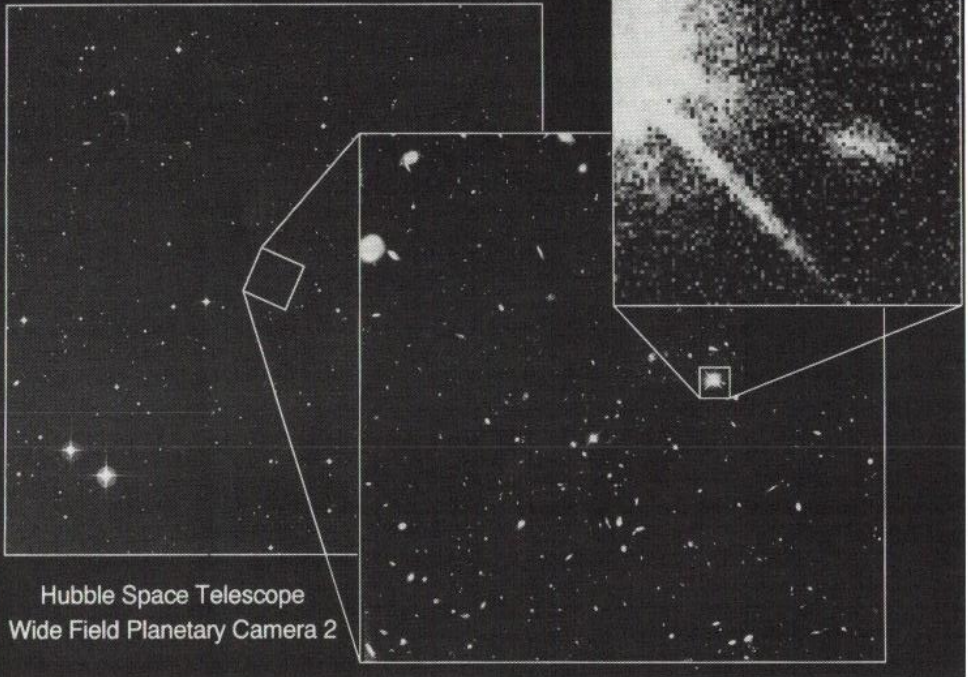
Les astronomes ont développé et utilisé avec succès une stratégie originale pour trouver des amas de galaxies primordiales. Se basant sur le fait que les amas primordiaux devaient être très compacts, ils en conclurent que si une galaxie affecte de quelque manière la lumière d'un quasar très distant, cette galaxie a statistiquement de grandes chances de faire partie elle-même d'un amas très jeune et distant.

Utilisant cette technique, les astronomes scrutèrent les alentours du quasar Q0000-263 dans la constellation Sculptor, et il découvrirent ainsi la galaxie la plus lointaine jamais observée, à une distance de douze milliards d'années lumière. De fil en aiguille

ils arrivèrent à déceler tout l'amas primordial dont elle faisait partie. Cette découverte indique à l'évidence que des amas existaient déjà moins de deux milliards d'années après le Big Bang.

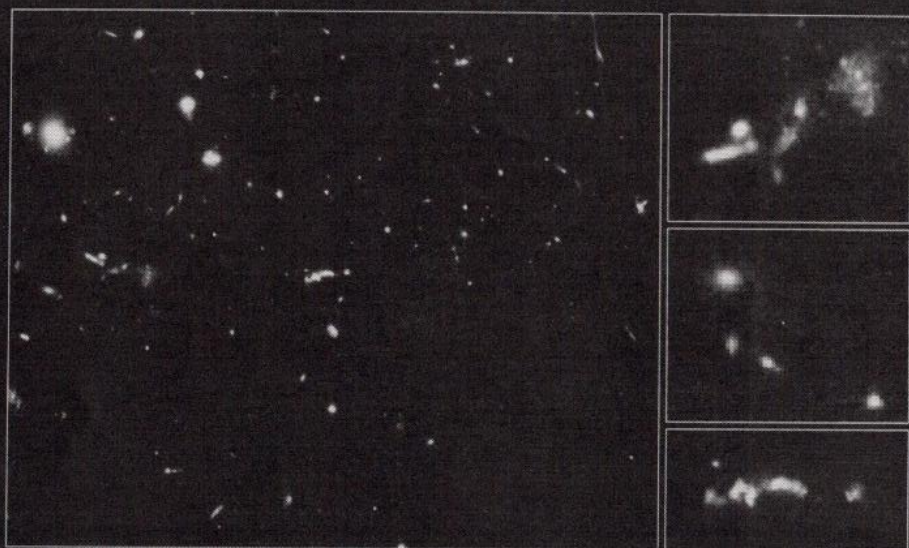
Adoptant une autre stratégie, l'équipe du HST chercha et découvrit un autre amas situé dans la direction, et à la même distance que la radiosource 3C324, dans le Serpent. Cet amas montre une population de galaxies rouges très semblable aux populations de galaxies elliptiques des amas actuels. La pose de 18 heures effectuée par le HST pour cette observation permet de voir des objets de 29^{ème} magnitude !

Galaxies in the Young Universe



Un amas jeune de galaxies devant le quasar Q0000-263. La photo de gauche a été prise au sol et ne révèle aucun des objets distants qui apparaissent dans la vue (au centre) prise par le HST. La plupart des galaxies sont assez proches, mais 14 d'entre elles font partie d'un amas lointain distant de 12 milliards d'années lumière. À droite, en encart, un agrandissement de la galaxie toute proche du quasar et pour laquelle on a mesuré un redshift de 4.11. (Crédit : D. Macchetto, M. Giavalisco, ESA, STScI et NASA)

Distant Cluster of Galaxies Around 3C 324



Hubble Space Telescope · Wide Field Planetary Camera 2

Un amas de galaxies distant de neuf milliards d'années lumière, dans la direction de la radio-galaxie 3C324. On y voit des galaxies elliptiques très normales, mais aussi de curieux fragments de galaxies qui vont peut-être s'assembler en galaxies spirales. (Crédit : M. Dickinson et NASA)

Hubble détecte l'une des étoiles les plus petites de l'univers

D'après communiqué ESA et
NASA Space Science Short, Dec. 94

Le cliché ci-joint, pris par la caméra à objets faiblement lumineux (FOC) de l'ESA, installée au foyer du Hubble Space Telescope, a permis de distinguer l'une des plus petites étoiles de la Voie Lactée. Baptisée G1623b, cette étoile minuscule est dix fois moins massive et 60.000 fois moins lumineuse que

le Soleil. Si elle était à la place de celui-ci, son éclat ne serait que huit fois celui de la pleine Lune.

G1623b se trouve à 25 années lumière de la Terre, dans la constellation d'Hercule. Il s'agit de la plus petite composante d'un système double. La distance qui sépare les deux composantes n'est que de deux unités astronomiques (deux fois la distance Terre Soleil), et leur période de révolution est de quatre ans.

G1623b fut décelée la première fois de façon indirecte, à l'occasion d'observations astrométriques ayant pour objet de mesurer l'éventuel mouvement oscillatoire accompli par l'étoile principale sous l'effet de l'attrac-

tion gravitationnelle d'un compagnon invisible. En raison de l'éclat de la composante principale, le petit compagnon échappe au regard des télescopes au sol. Le HST, en revanche, a la vue suffisamment perçante pour le distinguer.

Ces nouvelles observations de Hubble permettront aux astronomes de mesurer la luminosité intrinsèque et la masse de G1623b et contribueront ainsi à mieux comprendre

la formation et l'évolution des étoiles les plus petites connues à ce jour. Comme nous l'indiquons ailleurs dans ces colonnes, les astronomes pensaient que la Galaxie était surtout peuplée de naines rouges. Or les observations récentes de Hubble nous montrent que ces étoiles de faible masse sont particulièrement rares. La découverte de G1623b n'en est que plus intéressante.



La composante mineure de l'étoile double G1623 (à droite du centre sur ce cliché HST) est la plus petite étoile connue à ce jour. (Crédit : C. Barbieri, ESA et NASA)