

L'astronomie dans le monde

Premières observations d'oscillations de type solaire dans une autre étoile

Selon le press release 16/94 de l'ESO du 23 novembre 1994

Des astronomes de l'université danoise d'Aarhus, et de l'Observatoire Européen Austral (ESO) ont réussi pour la première fois à détecter des oscillations de type solaire dans une autre étoile. Ils ont observé durant six mois la température de l'étoile η Bootis depuis l'observatoire Roque de los Muchachos (île de La Palma) au moyen du télescope NOT (Nordic Optical Telescope) de 2m50, et ils ont trouvé qu'elle présentait des variations de quelques centièmes de degré.

Ces variations sont provoquées par des ondes de pression et dépendent directement de la structure interne de l'étoile. Une analyse détaillée a montré un bon accord avec les modèles actuels, ce qui constitue un test important des théories stellaires.

Le Soleil, une étoile en oscillation

Il y a une vingtaine d'années, on découvrait que le Soleil oscillait comme une cloche avec une période d'à peu près cinq minutes. Le même phénomène est connu sur Terre, celle-ci pouvant vibrer après un séisme. C'est ainsi que l'on peut analyser la structure interne de notre globe. Il est probable que la chute récente d'une comète sur Jupiter a eu un effet de ce type, bien que l'on n'ait pas pu le déceler.

Les oscillations solaires intéressent l'ensemble de la sphère gazeuse, mais nous ne pouvons les observer qu'en surface. On a trouvé que chaque *mode* soulève et abaisse alternativement la surface d'environ vingt-cinq mètres. Mais comme il y a de nombreux modes différents, de périodes différentes, le mouvement résultant est très complexe. Les valeurs des diverses périodes dépendent de paramètres comme la vitesse du son à l'intérieur du Soleil — vitesse qui, elle-même, dépend des conditions physiques de la matière. Aussi,

en mesurant précisément ces périodes, peut-on en inférer la structure du Soleil.

Qu'est-ce qui produit ces oscillations ? Nous n'en sommes pas encore certains, mais on peut penser que ce sont les mouvements de convection internes. Pour mieux comprendre ceci comparons le Soleil à une casserole d'eau bouillante. Les bulles (des « cellules de convection » pour le Soleil), dans leur mouvement ascendant, secouent la casserole (le Soleil).

D'autres étoiles oscillent-elles ?

Le Soleil est considéré comme une étoile normale. S'il oscille, on s'attend à ce que les autres étoiles le fassent aussi.

En fait, on connaît depuis des siècles des étoiles présentant de fortes oscillations : les étoiles variables. Cependant, dans la plupart des cas, comme les céphéides ou les RR Lyrae, seules une ou deux périodes existent. Ce qui distingue les oscillations solaires, c'est le grand nombre de modes différents, et leur très faible amplitude.

Durant la dernière décennie les astronomes ont tenté de trouver ce comportement dans d'autres étoiles, mais sans succès. Ce qui est normal étant donné l'éloignement et la très faible luminosité apparente de ces astres par comparaison au Soleil.

La plupart des efforts observationnels se sont portés sur la détection éventuelle des mouvements de surface, par la mesure de la vitesse par effet Doppler (le même phénomène qui permet aux radars de mesurer la vitesse des voitures). Mais, par suite de la faiblesse des vitesses en jeu (la surface monte et descend de moins d'un mètre par seconde), la mesure est extrêmement difficile.

Pour contourner cette difficulté, l'équipe danoise a utilisé une autre approche : les oscillations sont des ondes de pression qui perdent de l'énergie dans les couches successives de l'étoile qu'elles traversent. Ces couches sont donc chauffées de façon intermittente, ce

qui produit des variations de température de l'ordre de quelques millièmes de degré.

Mais comment faire pour mesurer d'aussi petites variations ? Cela est possible en mesurant l'intensité de certaines raies spectrales, particulièrement celles de l'hydrogène. Bien que difficile à mettre en pratique, cette technique s'avère plus efficace que la mesure de l'effet Doppler.

Oui, η Bootis oscille !

Pour tester la technique, les astronomes utilisèrent le télescope NTT (New Technology Telescope) de 3m50 de l'ESO afin d'observer une étoile brillante durant quelques heures. C'était trop bref pour détecter réellement les oscillations, mais cela a permis de démontrer que la méthode marchait : la précision atteinte sur les températures était adéquate.

Après cette démonstration, l'étoile choisie pour les observations réelles fut η Boo, un astre un peu plus « évolué » et plus gros que le Soleil, et qui, selon la théorie, promettait de présenter de plus fortes oscillations que celui-ci.

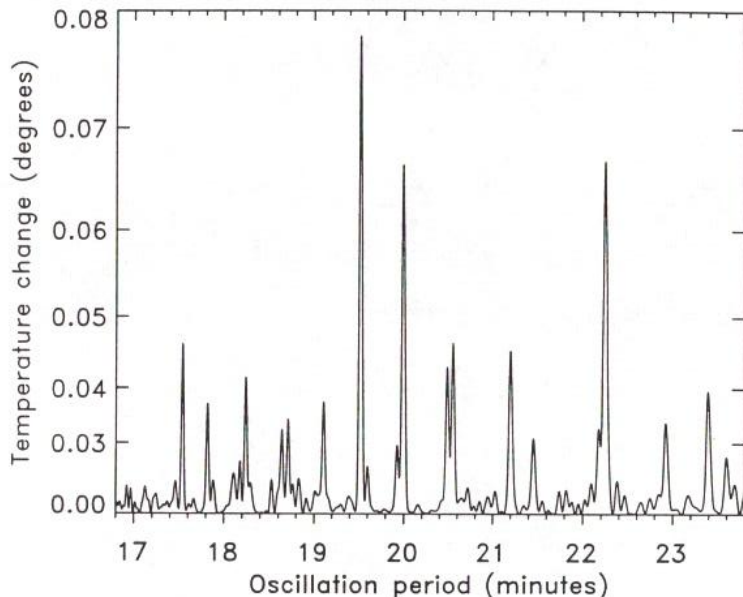
Les observations furent conduites au

moyen du télescope NOT (Nordic Optical Telescope) de 2m50 durant six belles nuits d'avril 1994. Une dizaine de modes d'oscillation avec des périodes d'environ 20 minutes furent décelées. Ces périodes sont plus longues que celles du Soleil, en accord avec la théorie qui prévoit un tel comportement pour une étoile plus massive et plus grosse que le Soleil.

La figure ci-dessous montre le « spectre des périodes » des oscillations, c'est-à-dire la variation de température en fonction de la période de chaque mode. On voit qu'au moment des observations, les variations de températures étaient de l'ordre de 0,03 à 0,08 degré selon le mode.

Accord avec la théorie

Les périodes observées pour les différents modes coïncident avec les valeurs prédites par les modèles de l'étoile. L'accord est excellent, ce qui prouve la validité des théories de la structure interne. Ce type d'observation constitue donc en quelque sorte un moyen de « regarder » à l'intérieur même des astres.



Spectre des oscillations de température de l'étoile η Boo. L'axe horizontal donne la période, tandis que l'axe vertical montre l'amplitude des oscillations. On voit que certaines périodes sont privilégiées : les « modes » de l'étoile.

Un nouvel objet transneptunien

Selon communiqué ESO 02/94

La photo ci-dessous, prise par le découvreur liégeois Olivier Hainaut, montre l'image très faible d'un nouvel objet transneptunien, découvert au moyen du télescope NTT (New Technology Telescope) de 3m50 de l'ESO en octobre 1994. Il s'agit d'une reproduction en négatif d'une image CCD.

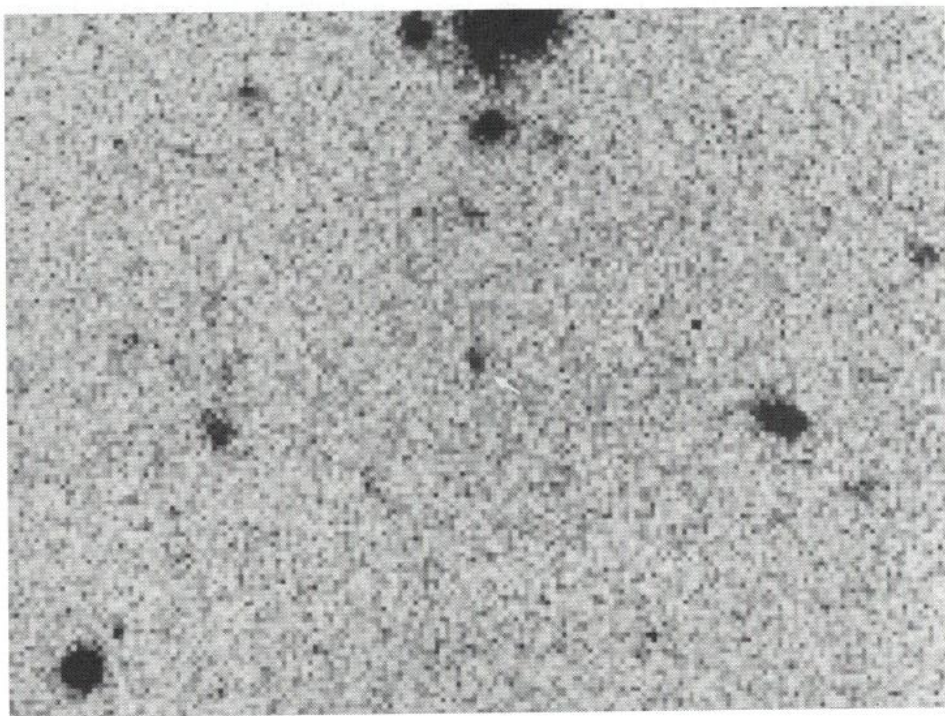
L'objet, de 24^{ème} magnitude, a été repéré grâce à son mouvement très lent parmi les étoiles : 3 secondes d'arc par heure. Six positions successives ont été mesurées et ont permis de calculer une distance au Soleil de 42 UA, soit 6,3 milliards de kilomètres. Cette distance situe l'objet bien au-delà de Neptune (4,5 milliards de kilomètres).

Le Minor Planet Center de l'Union As-

tronomique Internationale a attribué l'appellation provisoire 1994 TG2 à cet astre dont le diamètre doit être de l'ordre de 100 à 200 kilomètres.

1994 TG2 est le 17^{ème} objet transneptunien découvert au cours de deux dernières années. Neuf d'entre eux sont à des distances de 30 à 36 UA au Soleil ; les autres sont entre 40 et 45 UA. Aucun n'a encore été trouvé entre ces deux zones, sans doute à cause d'un effet gravitationnel de Neptune. Les mesures de couleur montrent que ces astres sont très rouges.

Les objets transneptuniens constituent une classe à part d'objets dans le système solaire. On ne sait pas encore si l'on doit les relier aux comètes ou aux petites planètes, ni si Pluton, sa lune Charon, ou la lune de Neptune, Triton, appartiennent à la même classe.



L'objet transneptunien 1994 TG2. Découvert par Olivier Hainaut, 1994 TG2 orbite à 42 UA du Soleil. (Crédit : ESO Information and Photographic Service, Garching, Allemagne)

Découverte d'une galaxie proche

Selon communiqué STScI 94/51, et *Nature*

Une nouvelle galaxie, très proche de la nôtre, vient d'être découverte, bien cachée derrière notre propre Voie Lactée. Appelée Dwingeloo 1, d'après le radiotélescope qui l'a détectée en premier le 4 août 1994, cette galaxie, qui contient plus de cent milliards

d'étoiles, appartient probablement au même groupe que Maffei 1 et 2.

La masse de ces objets, et leur proximité affectent certainement les mouvements des galaxies de notre Amas Local. Remarquons que la découverte de Dwingeloo 1 vient quelques mois après celle d'une toute petite galaxie cent fois plus proche qu'elle, et faisant partie de l'Amas Local.



La structure en spirale barrée de la nouvelle galaxie Dwingeloo1 est clairement mise en évidence sur cette photo composite résultant de la combinaison de trois images prises en différentes couleurs. (Télescope Isaac Newton, Observatoire de La Palma, RGO. Dwingeloo Obscured Galaxy Survey team)

Bien que cette nouvelle galaxie se trouve dans Cassiopée, une constellation bien située pour nous, il est inutile de se précipiter vers son télescope pour essayer de l'observer à la première nuit claire. Cette région de la Voie Lactée contient de grandes quantités de gaz et de poussières qui obscurcissent fortement la vision des objets extragalactiques. La magnitude apparente de Dwingeloo 1 n'est que de 14,8, alors qu'en l'absence de l'absorption interstellaire elle atteindrait environ la valeur beaucoup plus accessible de 10.

Ce n'est d'ailleurs pas par hasard que la découverte a été réalisée en ondes radio, ces dernières traversant allégrement les bancs de poussières interstellaires. Par la suite, les télescopes optiques ont pu l'observer et déceler une structure spirale (voir photo page précédente).

Le programme d'observation de Dwingeloo inclut l'observation systématique de la ZOA (Zone of Avoidance), qui est la « zone d'absence » d'objets extragalactiques dans le ruban de la Voie Lactée. La ZOA représente 15 % du ciel, ce qui est très important, et en tout cas suffisant pour altérer notre vision globale de la structure de l'univers. On sait depuis longtemps que, coïncidence malheureuse, c'est justement derrière la ZOA que se trouve l'une des clés pour la compréhension de cette structure. Le mouvement de notre Galaxie par rapport à l'expansion de l'univers est affecté d'une forte composante vers la ZOA. Quelque-chose l'attire dans cette direction. On sait aussi que la plus grande concentration de masse proche de nous se trouve dans la ZOA (le « Grand Attracteur », assimilé aux ensembles d'amas de galaxies Hydra-Centaurus-Pavo-Indus-Telescopium).

L'exploration de la ZOA se fait à la longueur d'onde de 21cm caractéristique de l'hydrogène atomique.

La distance de M100

Selon communiqué STScI 94/49, et *Nature*

En y détectant les variations d'étoiles

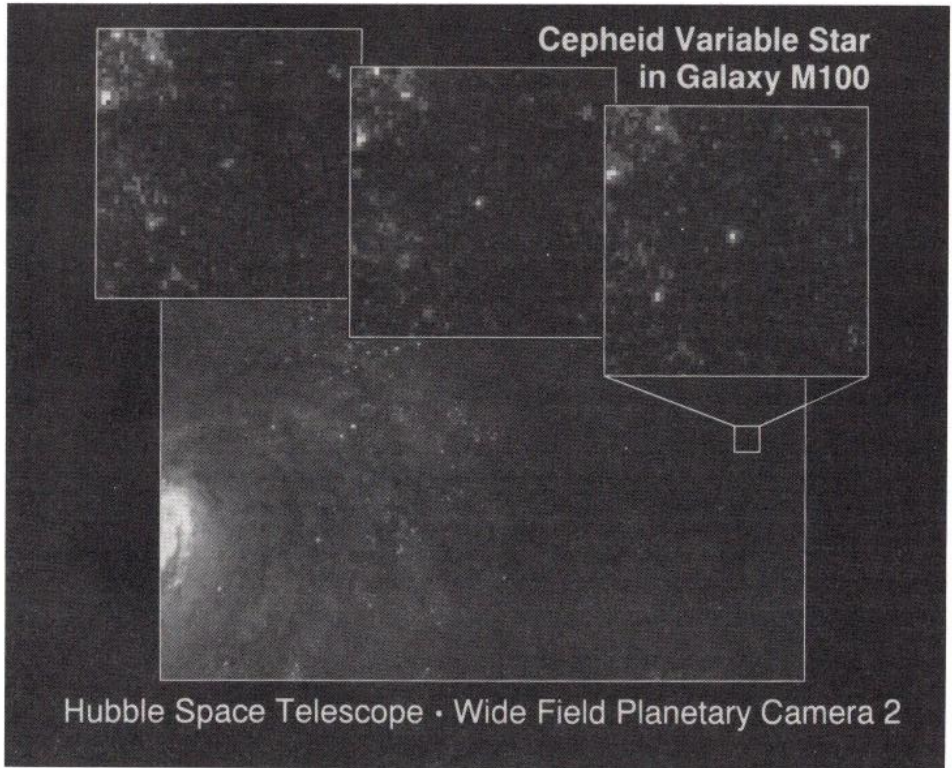
géantes du type δ Céphée, le Telescope Spatial Hubble (HST) a permis la mesure la plus précise à ce jour de la distance de la galaxie M100. Ces étoiles variables, connues comme étalons de distance depuis les travaux de Miss Leavitt sur les Nuages de Magellan, n'ont depuis jamais cessé d'être utilisées pour raffiner les distances des galaxies proches. Les travaux de Hubble (Edwin, pas HST !), Baade et Sandage ont permis la détermination des distances dans l'Amas Local, mais malgré leur forte luminosité, il était impossible d'accéder depuis le sol aux galaxies d'amas voisins.

Le télescope spatial était l'instrument idéal pour observer ces astres lointains. C'était d'ailleurs l'un des principaux motifs qui ont conduit à l'idée même de construire ce satellite.

La distance est le paramètre critique pour évaluer le taux d'expansion de l'univers et, par conséquent, moyennant certaines hypothèses, l'âge de celui-ci. La vitesse de récession des galaxies est, quant à elle, très facile à mesurer si l'on admet qu'elle est parfaitement reflétée par le décalage de leurs spectres vers le rouge (effet Doppler).

La détection des Céphéides de M100 établit la distance de celle-ci à 51 millions d'années lumière avec une incertitude d'environ 6 années lumière. Connaissant la vitesse de récession de M100, on évalue alors le taux d'expansion de l'univers (la constante de Hubble) à 80 km par seconde et par mégaparsec.

L'instrument utilisé au foyer du télescope était la Wide-Field and Planetary Camera (WFPC2). Les astronomes ont pris douze images d'un même champ de M100, une région où de nombreuses étoiles sont en train de se former, ou se sont formées récemment. Les céphéides étant des étoiles jeunes, on savait qu'il y en aurait certainement. Les poses, d'une heure chacune, étaient réparties judicieusement dans une fenêtre de deux mois. Plus de 40.000 étoiles ont été examinées sur les clichés, et vingt d'entre elles se sont avérées être des céphéides. La répartition temporelle des observations a alors permis d'établir la courbe de lumière et la période de chacune d'elles — période que l'on sait directement reliée à la luminosité intrinsèque.



En encart, dans cette image partielle de la galaxie M100, on a représenté trois phases de la variation d'une céphéide à quelques jours d'intervalle. Les variations de brillance de cette étoile sont directement liées à sa luminosité intrinsèque, et permettent de calculer la distance de la galaxie. (Crédit : Dr. W.L. Freedman, Observatories of the Carnegie Institution, et NASA)

Tout serait parfait si l'amas de la Vierge obéissait strictement à la loi moyenne d'expansion de l'univers. Malheureusement cet amas est fortement perturbé gravitationnellement par d'énormes concentrations de matière (galaxies) situées à proximité. La vitesse mesurée dans les spectres n'est donc pas représentative de la vitesse d'expansion de l'univers à la distance de 51 millions d'années lumière. Mais quelle correction devrait-on apporter ?

D'autre part, même si la constante de Hubble était établie avec précision, cela ne donnerait pas encore l'âge exact de l'univers. Celui-ci dépend du modèle d'évolution qu'on lui attribue et dépend de la densité de matière qu'il contient. Ce dernier point est encore très incertain. Admettant la valeur de 80 km/s déterminée par le HST, sans correction, on obtient un âge inférieur de 8 milliards d'années (pour un univers très dense) et un âge supérieur de 12 milliards d'années (univers ténu).

Ces valeurs sont petites, trop petites même pour que les astronomes les acceptent sans rechigner. La raison en est que les théoriciens estiment l'âge de certains astres (étoiles, amas globulaires) à bien plus de 12 milliards d'années. En outre, ils ont les pires difficultés à expliquer comment les structures de l'univers auraient pu se mettre en place aussi vite.

Une fois de plus la réponse à une question, au lieu de mettre un point final au débat, entraîne une série d'autres questions encore plus embarrassantes.

* * *

Uranus vu par Hubble

Selon communiqué STScI 94/50

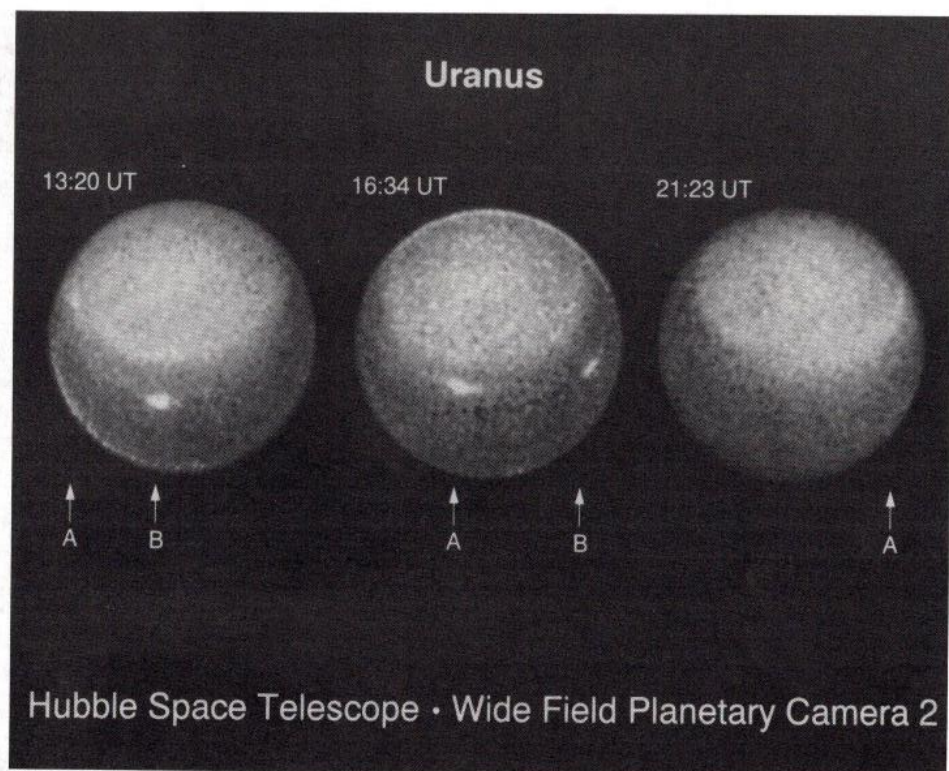
La caméra WFPC2 du HST a obtenu les premières images détaillées de la planète Uranus depuis la visite historique de la sonde Voyager 2 en 1986. Il y a huit ans, cette sonde avait obtenu d'impressionnants clichés des anneaux et de la planète elle-même. Elle avait

aussi pu découvrir dix nouveaux satellites et en mesurer les caractéristiques orbitales. Mais, depuis, aucun de ces satellites n'a plus été vu. Quant à la planète et à ses anneaux, la résolution des images prises depuis les observatoires terrestres est trop insuffisante pour fournir des renseignements de grande valeur.

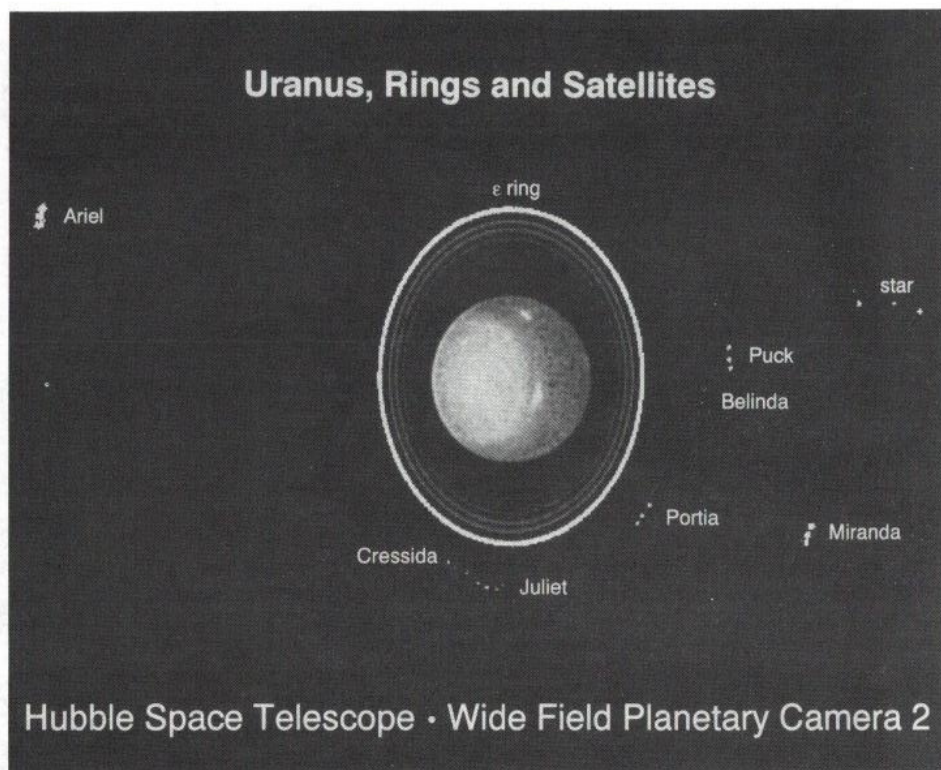
Heureusement l'optique maintenant parfaite du Hubble Space Telescope donne de nouveaux moyens à l'astronomie planétaire. Les observations détaillées des satellites d'Uranus vont permettre de raffiner les paramètres orbitaux, ce qui donnera la possibilité d'analyser les résonances subtiles qui existent entre les différentes lunes, et de mieux comprendre la dynamique extraordinairement complexe de ce système. Depuis Voyager les satellites ont effectué des milliers de rotations autour d'Uranus, et l'on comprend que l'on doive maintenant apporter des corrections très fines pour rattraper les erreurs qui s'étaient accumulées dans les éphémérides au cours du temps.

Outre l'aspect dynamique, Hubble apporte sa contribution à l'étude géophysique et minéralogique des satellites en mesurant leurs propriétés optiques, essentiellement leurs couleurs. Cette analyse pourrait conduire à des hypothèses concernant l'origine de ces astres. Les mêmes observations, concernant les anneaux cette fois, apporteraient des renseignements analogues sur ces extraordinaires structures.

La planète elle-même présente un intérêt considérable. Au moment de la visite de Voyager, le Soleil était quasiment au zénith du pôle sud (rappelons qu'Uranus a la curieuse propriété d'avoir son axe de rotation pratiquement dans le plan de son orbite, et en 1986 cet axe pointait vers le Soleil !). Il n'y avait alors pas d'alternances jour-nuit, alors que maintenant il y en a, le pôle s'étant écarté à 30° du Soleil. Hubble a ainsi constaté l'apparition de taches plus contrastées qu'à l'époque de Voyager. L'étude détaillée de ces observations demandera du temps, mais il est certain que la connaissance de cette planète géante fera d'énormes progrès grâce à l'apport du HST.



Cette séquence d'images prises par le HST le 14 août 1994 révèle le mouvement de deux nuages brillants emportés par la rotation d'Uranus ainsi que la présence d'un voile de brume formant une calotte au-dessus du pôle sud. (Crédit : K. Seidelmann, US Naval Observatory et NASA)



Les anneaux et plusieurs des lunes d'Uranus sont visibles sur cette image composite de la planète, obtenue en surperposant trois clichés pris à des intervalles de 6 minutes. Les lunes apparaissent ainsi comme des groupes de trois points. Ceci permet de distinguer les lunes de défauts des clichés — à la manière de la célèbre Carte du Ciel. (Crédit : K. Seidelmann, US Naval Observatory et NASA)

Un amas double dans le Grand Nuage de Magellan

Selon communiqué STScI 94/40

Le Hubble Space Telescope vient de nous donner quelques indications supplémentaires sur la façon dont les étoiles ont pu se former dans l'univers primitif, il y a de nombreux milliards d'années. Les observations du satellite ont porté sur deux amas stellaires et suggèrent que ceux-ci ont eu une évolution commune.

Les amas sont situés à 166.000 années lumière dans la constellation australe de la Dorade, plus précisément dans l'un des satellites de notre Voie Lactée, le Grand Nuage de Magellan. La faible distance qui sépare les amas a conduit les astronomes du HST à penser qu'ils étaient physiquement liés, constituant un amas double, plutôt que deux entités distinctes.

Jusqu'à présent l'étude de l'évolution stellaire était limitée aux régions galactiques proches, sièges de formation stellaire. mais les images de haute définition obtenues par le Space Telescope sont tout à fait capables d'étendre ces études stellaires jusqu'à des distances cent fois plus grandes, plongeant ainsi dans l'univers extragalactique. Le Grand Nuage de Magellan est une cible toute indiquée et un laboratoire naturel pour étudier la naissance et l'évolution des étoiles.

Les étoiles du Grand Nuage sont pauvres en éléments lourds, ce qui indique aux astronomes une composition plus primordiale que celle de la Voie Lactée, analogue à celle des premières étoiles de l'univers primitif.

Une première analyse des observations du Hubble Space Telescope indique que l'amas double contient un nombre anormalement grand d'étoiles massives. On peut penser que s'il en avait été de même voici quelques milliards d'années, l'évolution initiale de l'univers aurait été fort différente de ce que l'on pense actuellement.

L'équipe internationale qui a effectué les

observations a fait usage des capacités optiques du télescope — sa sensibilité dans l'ultraviolet et son acuité exceptionnelle — pour séparer les étoiles des amas en trois populations distinctes. Au total 10.000 étoiles ont été étudiées, alors que l'on n'en observe qu'un millier depuis le sol.

Soixante pour cent des étoiles appartiennent à l'amas dense NGC 1850, dont on estime l'âge à 50 millions d'années. Dans la même région se trouve un ensemble d'étoiles très massives et beaucoup plus jeunes (4 millions d'années), constituant environ vingt pour cent des étoiles observables sur le cliché de la page suivante. Les autres étoiles — la troisième population — sont de simples étoiles de champ du Grand Nuage, situées là par hasard. À première vue ces deux amas de caractéristiques si différentes semblent être bien distincts, et leur position dans le ciel ne devrait être que le résultat d'un alignement fortuit sur la ligne de visée. L'amas jeune étant vraisemblablement associé à des poussières interstellaires, il ne peut être situé à l'avant plan : les poussières obscurciraient la vue du second amas. Selon certains, l'amas jeune pourrait donc se trouver environ 200 années lumières derrière l'autre.

Une telle distance est très faible astronomiquement parlant. La juxtaposition de ces deux populations bien différenciées doit avoir une explication en terme d'évolution.

Un scénario qui a été envisagé est que l'expansion d'une bulle de gaz chaud, provenant de l'explosion d'un millier de supernovae de l'amas le plus âgé, aurait pu déclencher la formation de l'amas jeune. Cette bulle, après 45 millions d'années serait entrée en contact avec un nuage dense de gaz et de poussières, et l'aurait comprimé, entraînant ainsi la contraction d'une nouvelle génération d'étoiles. Les étoiles massives de ce nouvel amas auront une vie très courte, quelques millions d'années. Elles exploseront elles-mêmes en supernovae, et créeront une nouvelle bulle de gaz qui pourra à son tour faire naître de nouvelles étoiles.



Ce champ de 130 années lumière de côté montre deux amas superposés appartenant au Grand Nuage de Magellan. On y voit une dizaine de milliers d'étoiles représentant deux générations d'étoiles. (Crédit : STScI, ESA, JPL, NASA)