

être léger et résister à son propre poids. Il doit mesurer jusqu'à 36 000 km si on souhaite placer la plateforme sur une orbite géostationnaire. Une des solutions envisagées, déjà évoquée par A. C. Clarke, utiliserait des nanotubes de carbone.

(07/09/04)

### Genesis sans doute sauvé

Les scientifiques en charge des premières évaluations de Genesis sont optimistes. Ils pensent finalement qu'il sera possible de récupérer la plus grande partie des échantillons et que les buts principaux de la mission pourront être atteints. Rappelons que la mission Genesis, lancée en août 2001 depuis la base de l'US Air Force de Cap Canaveral en Floride, a récolté des échantillons du vent solaire après un périple de plusieurs années autour du point Lagrange L1. Ces échantillons devaient (devaient) fournir des informations essentielles sur la composition du Soleil et dès lors sur les origines du Système solaire. La mission était particulière

en ce sens qu'elle était sensée ramener sur Terre ces fameux échantillons. La récupération de la capsule devait se dérouler le 8 septembre au-dessus de l'Utah, à l'aide de deux hélicoptères et de l'avion FISTA de l'Armée de l'Air US. L'idée était de récupérer les échantillons en plein vol avant qu'ils ne soient contaminés par la surface terrestre. La capsule était heureusement pourvue d'une balise permettant de la localiser. Sage précaution... En effet, les parachutes de la capsule ne sont pas déployés. La récupération en vol s'est avérée impossible et la capsule s'est écrasée dans le désert. Les échantillons ont cependant pu être récupérés et ont été emmenés dans une chambre propre de la base militaire de Dugway dans l'Utah. Les quatre segments du concentrateur ne semblent pas être endommagés. Un des buts principaux de la mission, la détermination des rapports isotopiques de l'oxygène et de l'azote, ne semble plus compromis.



La capsule Genesis écrasée dans le sol américain, qu'elle a percuté à près de 320 km/h.

D'autre part, le feuillet en or, qui doit contenir quelques milliards d'atomes du vent solaire, en est aussi sorti indemne. Les échantillons seront ensuite transférés au centre spatial Johnson pour y être analysés plus en détails.

(NASA, 09/09/04 – 30/09/04)

## L'ÂGE DE LA VOIE LACTÉE ... NOUVELLE DÉTERMINATION RÉALISÉE AVEC LE VLT

Ann C. Vandaele

Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique

*Des observations réalisées par une équipe internationale d'astronomes à l'aide du spectromètre UVES sur le Very Large Telescope (VLT) de l'Observatoire de Paranal (Chili) ont mis en évidence les premiers moments de notre galaxie. La concentration de béryllium a été mesurée pour la première fois dans les spectres de deux étoiles appartenant à l'amas globulaire NGC 6397. Ces mesures ont démontré qu'il était possible de remonter dans le temps, entre la formation de la première génération d'étoiles de la Voie lactée et celle d'amas stellaires. Cet intervalle de temps correspond à environ 200 à 300 millions d'années. L'âge des étoiles de NGC 6397, déterminés par des modèles d'évolution stellaire, est d'environ  $13\,400 \pm 800$  millions*

*d'années. Par l'addition de ces deux nombres, on en déduit l'âge de la galaxie :  $13\,600 \pm 800$  millions d'années. Ces nouvelles observations sembleraient indiquer que la première génération d'étoiles de la Voie lactée s'est formée très vite après la fin des 'âges sombres' qui succédèrent au Big Bang.*

La compréhension de la formation et de l'évolution de la Voie lactée est cruciale pour notre connaissance de l'Univers. Ces études sont cependant complexes parce qu'elles nécessitent l'observation d'objets lointains, âgés et très faibles.

### Amas globulaires et l'âge des étoiles

L'astrophysique moderne est capable de déterminer l'âge de certaines étoiles, c'est-à-dire le temps écoulé depuis le moment de leur formation par condensation au sein de nuages de poussières et de gaz interstellaires. Certaines étoiles sont très récentes, au sens astronomique s'entend, vieilles de quelques millions d'années. Par exemple, le Soleil et son système planétaire furent formés il y a 4 560 millions d'années. Mais de nombreuses étoiles ont été formées beaucoup plus tôt. Certaines des étoiles les plus âgées se trouvent dans des amas stellaires, et notamment dans des amas globulaires, appelés

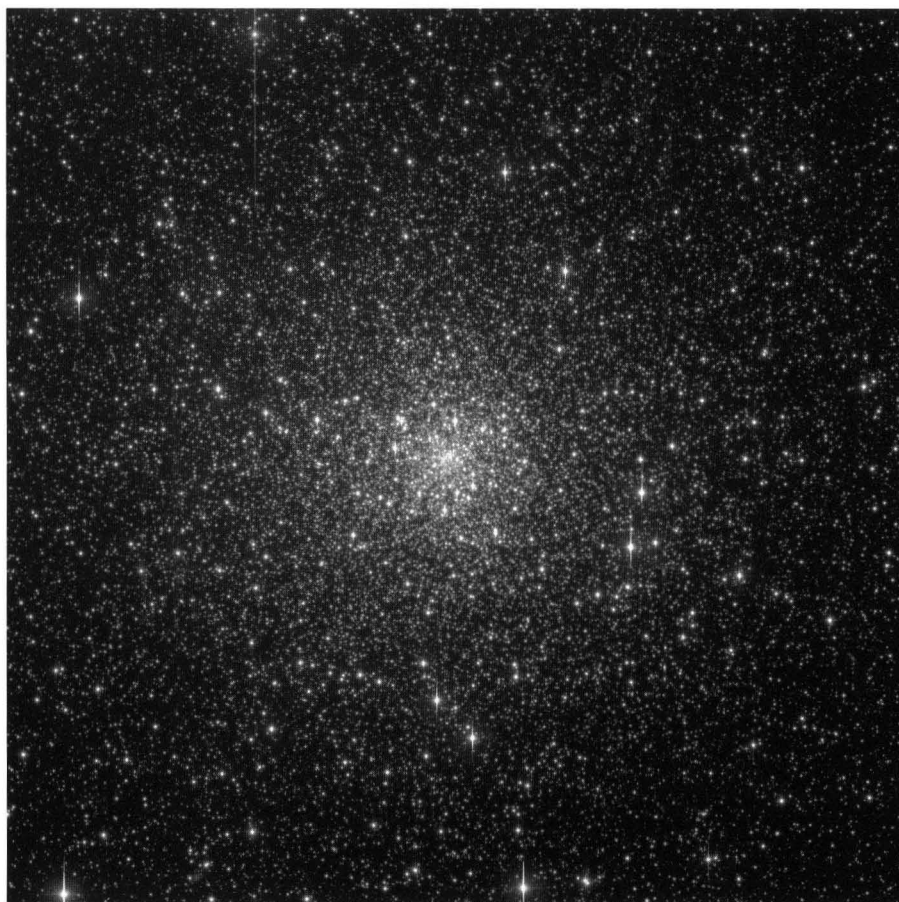
ainsi pour leur forme sphéroïdale. On admet que les étoiles appartenant à un même amas sont nées en même temps, à partir d'un même nuage interstellaire. Etant donné que des étoiles de masses différentes évoluent différemment, il est possible de mesurer l'âge de l'amas avec une bonne précision. Les plus âgés datent de plus de 13 000 millions d'années.

Cependant, ces amas n'ont pas été les premiers objets formés dans la Voie lactée. Les astronomes en sont convaincus d'après la teneur de certains composants chimiques qui ont dû être synthétisés dans une génération précédente d'étoiles massives, ayant explosé en supernovae à la fin de leur vie mouvementée mais courte. Le matériau produit s'est retrouvé dans le nuage interstellaire qui a engendré la formation des étoiles des générations suivantes.

Jusqu'à présent, et malgré de nombreux efforts, il n'a pas été possible d'observer de telles étoiles massives appartenant à la première génération. Dès lors, comment savoir quand celles-ci ont été formées ? Tout ce que les astronomes peuvent affirmer, c'est que la Voie lactée semble bien plus âgée que le plus âgé des amas observés ! Mais de combien ?

### Le béryllium à la rescousse

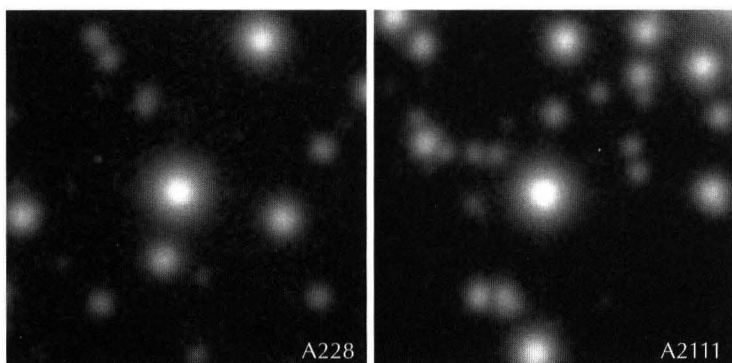
Ce que les astronomes aimeraient avoir à leur disposition, c'est une méthode de mesure de l'intervalle de temps existant entre la formation des premières étoiles de notre galaxie et le moment où les étoiles appartenant à un amas globulaire d'âge connu



Vue de l'amas globulaire NGC 6397, situé à une distance approximative de 7 200 années de lumière dans la constellation de l'Autel. La partie centrale est devenue très dense suite à l'effondrement du cœur. Elle contient environ 400 000 étoiles. La photo est une combinaison des images dans les bandes B, V et I obtenues par la caméra WFI (Wide Field Imager) sur le télescope ESO/MPI de 2,2 m à La Silla. Crédits : ESO.

ont été formées. La somme de cet intervalle de temps et de l'âge de l'amas serait alors une mesure de l'âge de la Voie lactée. La réponse tiendrait dans le béryllium, l'un des éléments les plus légers. L'isotope le plus commun, le béryllium-9, est stable et est constitué de 4 protons et 5 neutrons. Seuls l'hydrogène, l'hélium et le lithium sont plus légers. Mais alors que ces derniers ont été produits

lors du Big Bang et que la plupart des éléments plus lourds ont été produits plus tard au sein des étoiles, le béryllium-9 ne peut être produit que par spallation cosmique, c'est-à-dire par fragmentation de noyaux plus lourds très rapides percutant des noyaux plus légers (principalement des protons ou des particules alpha) dans le milieu interstellaire. [voir *Ciel et Terre*, 2, 34 (2004), pour une description détaillée de l'origine des éléments].



Vues des deux étoiles A0228 et A2111 appartenant à l'amas globulaire NGC 6397 dont les spectres ont servi à la mesure de l'abondance du béryllium. Ces images ont été extraites de l'image précédente à l'aide de la caméra WFI (Wide Field Imager) sur le télescope ESO/MPI de 2,2 m de l'Observatoire de La Silla. Crédits : ESO.

### Les rayons cosmiques galactiques, le béryllium et l'horloge cosmique

Les rayons cosmiques galactiques se déplacent au travers de la Voie lactée, guidés par le champ magnétique cosmique. La production de béryllium qui en résulte est relativement bien uniforme au sein de la galaxie. La quantité de béryllium s'est ainsi accrue au fil du temps, pouvant dès lors servir

d'horloge cosmique.

Plus le temps a passé entre la formation des premières étoiles (plus précisément, depuis leur explosion en supernovae) et celle des amas globulaires, plus il y a de béryllium dans le milieu interstellaire. Donc, en supposant que le béryllium est préservé dans les atmosphères stellaires, plus on trouve de béryllium dans celles-ci, plus de temps s'est écoulé entre la mort des premières étoiles et la formation de l'étoile étudiée. Le béryllium peut donc fournir des informations cruciales sur la durée des phases précoces de la Voie lactée.

### Une détection peu aisée

Les fondements théoriques de cette méthode de datation ont été développés durant ces trois dernières décennies. Il ne reste donc plus qu'à passer à l'action et à mesurer ce fameux béryllium dans des étoiles d'amas globulaires. Ce n'est pas aussi simple, bien sûr. Le problème principal est que le béryllium est détruit à des températures supérieures à quelques millions de degrés. Lorsqu'une étoile évolue vers sa phase de géante lumineuse, les mouvements de convection permettent au gaz de l'atmosphère supérieure de se mélanger au gaz plus chaud de l'intérieur, dans lequel le béryllium a tout ou en partie disparu. Le béryllium est donc dilué significativement. Il faut donc mesurer le contenu en béryllium dans des étoiles moins massives, moins évoluées. Ces étoiles, dénommées TO (Turn-Off stars), sont particulièrement faibles. Le problème à résoudre est en fait triple :

- Les amas globulaires étant tous très lointains, les étoiles à observer sont donc des petits points très faibles dans le ciel. Même dans NGC 6397, un des amas les plus proches, les étoiles TO ont une magnitude visuelle de  $\sim 16$ .
- La détection ne peut se baser que sur deux raies spectrales de béryllium observées dans les spectres stellaires. Ces raies sont faibles, d'autant

plus que les étoiles visées contiennent peu de béryllium. Elles sont souvent superposées à d'autres structures spectrales provenant d'autres constituants de l'atmosphère stellaire.

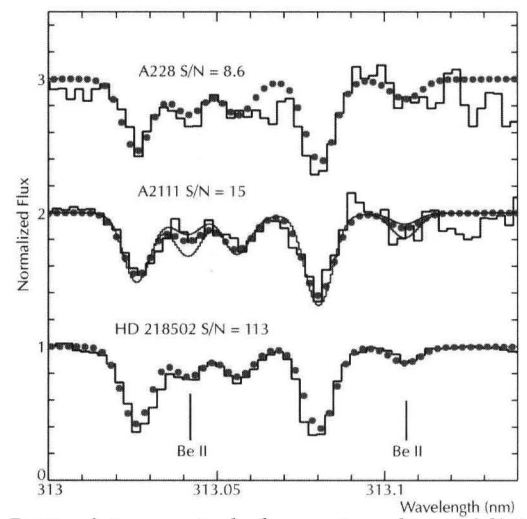
- Ces raies sont situées dans une région spectrale peu étudiée, autour de 313 nm, dans l'ultraviolet, région fortement affectée par la présence de l'atmosphère terrestre. Rappelons que l'absorption due à cette dernière empêche toute observation en deçà de 300 nm.

Il n'est donc pas étonnant qu'aucune observation n'ait été réalisée auparavant : les défis techniques étaient quasi insurmontables !

### VLT et UVES au travail

À l'aide du spectromètre UVES placé sur le télescope Kuyen de 8,2 m du VLT à Paranal, particulièrement sensible dans le domaine ultraviolet, une équipe de chercheurs italiens a réussi à obtenir les premières mesures fiables du béryllium dans deux étoiles de type TO (appelées A0228 et A2111) dans l'amas globulaire NGC 6397. Situé à une distance d'environ 7 200 années de lumière dans la direction de la constellation australe de l'Autel, c'est l'un des deux amas stellaires les plus proches, l'autre étant Messier 4.

Les observations ont été réalisées durant plusieurs nuits au cours de l'année 2003, totalisant plus de 10 heures d'exposition pour chacune des deux étoiles. Les spectres résultants indiquent la signature faible des ions béryllium (Be II). La comparaison avec des spectres synthétiques, simulés pour différentes concentrations de béryllium, a permis aux astronomes de trouver les quantités optimales : pour chaque atome de béryllium, il y a  $2\,224 \times 10^9$  atomes d'hydrogène.



Petite région spectrale des spectres obtenus à l'aide du spectromètre UVES sur le télescope Kuyen de 8,2 m de l'Observatoire de Paranal, des étoiles A0228, A2111 et HD 218502. Les rapports signal sur bruit atteints sont également indiqués. Les spectres synthétiques optimaux sont représentés par les points. Crédits : ESO.

Les raies de béryllium ont également été observées dans les spectres d'une autre étoile du même type, HD 218502. Cependant, cette étoile ne fait pas partie de l'amas NGC 6397, et son âge ne peut pas être déterminé avec autant de précision. Son abondance en béryllium est semblable à celles des deux autres étoiles, indiquant que toutes ces étoiles ont dû être formées à peu près au même moment.

### Du Big Bang à aujourd'hui

D'après les meilleures théories actuelles sur le phénomène de la spallation, la quantité de béryllium mesurée a dû être accumulée au cours de 200 à 300 millions d'années. L'âge de la Voie lactée est plus grand que celui de l'amas globulaire au minimum de cette durée. Notre galaxie doit donc être âgée de 13 600 millions d'années. Compte tenu de l'incertitude (800 millions d'années), cette valeur est en bon accord avec les estimations de l'âge de l'univers, 13 700 millions d'années. Il semble dès lors que la première génération d'étoiles se soit formée au sein de notre Galaxie juste à la sortie des 'âges sombres'. Il semblerait donc également que le système dans lequel nous vivons fasse partie des éléments fondateurs des galaxies dans l'univers.

(ESO, 17/08/04)