

ditions particulières pour que les mécanismes de formation par capture neutronique soient possibles.

La nucléosynthèse des éléments à processus-r

Plusieurs sites de nucléosynthèse des éléments à processus-r ont été proposés. Dès 1957, B2FH (*Rev. Mod. Phys.* **29**, 547) ont initialement suggéré que le processus-r pouvait être associé aux phénomènes de supernova. De nombreux calculs ont été effectués pour décrire comment les éléments lourds pourraient être produits dans les régions proches du cœur de la supernova. Aucun d'entre eux n'a pu à la fois créer et éjecter les éléments r pouvant expliquer les abondances cosmiques. Récemment, différents auteurs (Meyer et coll. *ApJ*, **399**, 656) ont proposé un modèle satisfaisant où les éléments-r sont formés dans des bulles chauffées par les neutrinos associés au phénomène d'explosion retardée des supernovae. Tous les sites proposés de nucléosynthèse des éléments-r peuvent être classés en 2 groupes: ceux où les éléments-r sont formés de manière primaire (c'est-à-dire qu'ils peuvent être formés dans des étoiles constituées uniquement d' H et d'He) et ceux où les éléments-r sont secondaires (c'est-à-dire que des noyaux cibles doivent être déjà présents pour permettre la formation des éléments-r).

Les observations

Seuls 2 éléments-r (europium et thorium) sont "observables" dans les atmosphères des étoiles G. Ces étoiles ont une durée de vie sur la séquence principale qui est de l'ordre de l'âge de la Galaxie. Il est ainsi possible, en observant des étoiles formées à différentes époques de la vie de la Galaxie de reconstruire comment s'est fait l'enrichissement en éléments lourds. L'étude de cet enrichissement, que l'on appelle évolution chimique, permet non seulement de découvrir quelle a été l'activité stellaire de la Galaxie mais aussi de fournir de précieux renseignements sur les sites probables de formation des éléments. L'europium a été observé de nombreuses fois et l'évolution de son abondance est assez bien connue. Cependant, les transitions mesurables de l'europium sont fortes, ce qui signifie qu'elles sont sensibles à certains paramètres mal connus (l'amortissement et la vitesse de microturbulence par exemple) et de plus proviennent d'atomes ionisés (l'abondance est sensible à une erreur sur la gravité adoptée). La figure 14 présente une compilation d'observations récentes. On peut remarquer que malgré une certaine dispersion, ce diagramme possède des informations



Figure 16: $[Th/Fe]$ en fonction de $[Fe/H]$. L'allure du diagramme, similaire à la Figure 14, serait une caractéristique propre aux éléments à processus-r.

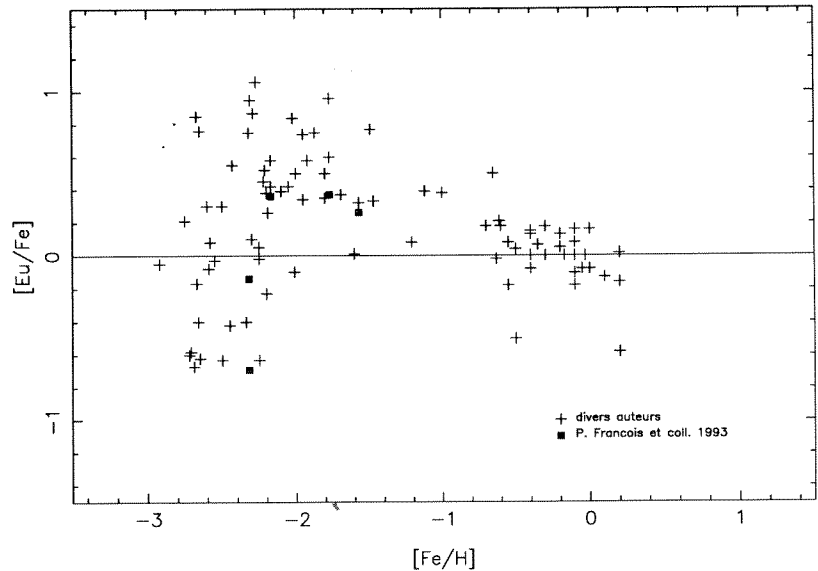


Figure 14: $[Eu/Fe]$ en fonction de $[Fe/H]$. $[M/H] = \log(M/H) - \log(M/H)_{\odot}$. On remarque une brusque chute du rapport $[Eu/Fe]$ dans les étoiles déficientes.

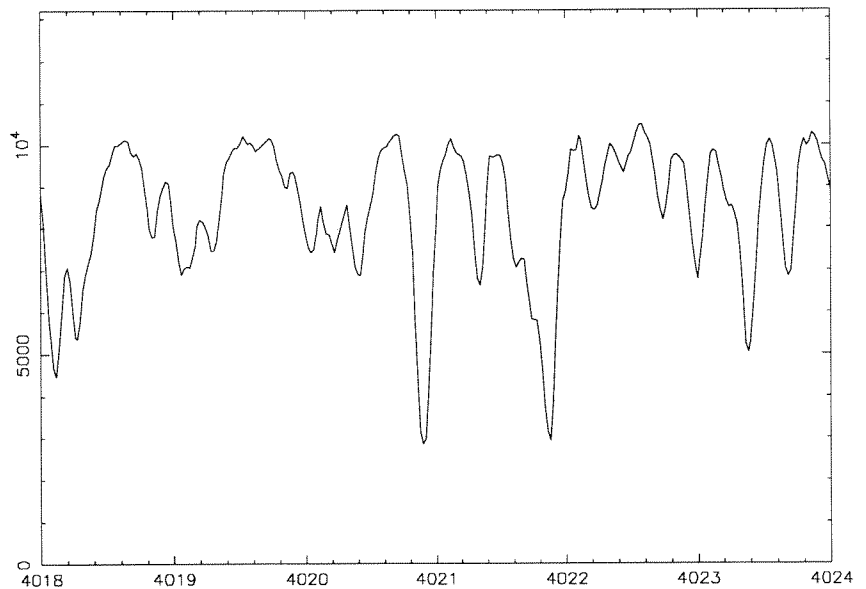
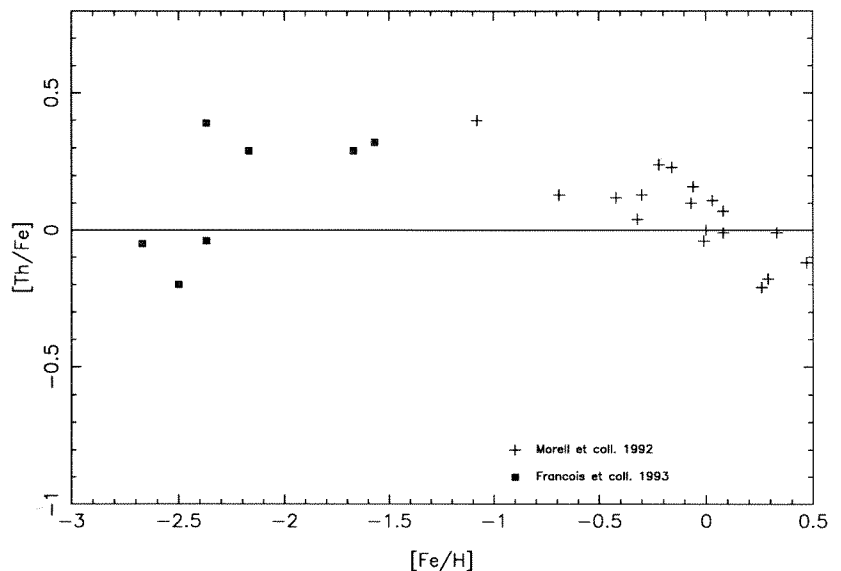


Figure 15: Spectre de HD 136 316 entre 401.8 et 402.4 nm; temps de pose 2^h00.



tout à fait intéressantes. Le rapport [Eu/Fe] a une valeur d'environ +0,5dex, c'est-à-dire que le rapport Eu/Fe est environ 3 fois solaire, dans des étoiles dont l'abondance en fer varie entre la valeur solaire et 1/100 de la valeur solaire. Pour des étoiles plus déficientes en métaux, le rapport Eu/Fe varie rapidement et devient très inférieur au rapport solaire. Le deuxième élément dont l'abondance est mesurable est le thorium qui présente la particularité d'être radioactif de demi-vie égale à 14 milliards d'années.

Le cas du thorium

Butcher en 1987, (*Nature* 328,127) a été le premier à déterminer l'abondance du thorium dans un échantillon d'étoiles naines. L'étude du rapport de l'abondance du thorium (instable) par rapport au neodymium (stable) lui a permis, au prix de quelques hypothèses simplificatrices de déterminer une limite supérieure à l'âge de la Galaxie. La valeur déduite de 10 milliards d'années était en profonde contradiction avec l'âge des étoiles du halo (ou des amas globulaires) déduits des isochrones. Pagel (1989, in "Evolutionary phenomena in galaxies" CUP press) montra que l'une des causes de ce désaccord provenait du fait que l'élément de référence choisi (le neodymium) était produit par un processus différent (le processus-s) et proposa de considérer le rapport Th/Eu plutôt que le rapport Th/Nd. Quelques études ont été effectuées par différents groupes sur les étoiles les plus brillantes et donc en général peu déficientes, la difficulté résidant dans le fait que la raie la plus forte du thorium est très fortement blendée et située à 401,9 nm, région du spectre où le rendement des détecteurs est faible. La détermination de l'abondance du thorium nécessite à la fois l'utilisation d'un grand télescope et d'un spectrographe à haute résolution spectrale. Nous avons effectué une mission d'observation au télescope CFH en utilisant le spectrographe coudé situé au foyer f/8 associé à un détecteur RETICON capable de fournir à la fois des spectres à haut rapport signal sur bruit et à haute résolution spectrale. Au cours des 3 nuits d'observation, nous avons pu enregistrer les spectres de 8 étoiles. Pour les objets les plus faibles, des poses multiples ont été nécessaires. La figure 15 montre le spectre de HD 136316 dans la région du thorium. Les données ont été réduites avec une chaîne de programmes fonctionnant à l'observatoire de Paris et développée par M. Spite. La détermination des abondances a été obtenue par une procédure standard d'analyse en ETL.

Résultats

Dans la figure 16 ont été rassemblées les déterminations des rapports d'abondance [Th/Fe] relativement à la métallicité de l'étoile (plus précisément [Fe/H]). Les résultats obtenus sont particulièrement intéressants. L'allure de la relation [Th/Fe] en fonction de [Fe/H] est très similaire à ce qui a été obtenu pour l'euporium favorisant l'idée que les éléments-r sont formés dans des sites où la formation est primaire. Une étude préliminaire de ces données montre que les sites où les éléments-r sont primaires pourrait expliquer les courbes [élément-r/Fe] en fonction de [Fe/H]. Les sites seraient situés dans des supernovae de type II. Une analyse détaillée du rapport Th/Eu montre qu'il devient plus bas que le rapport solaire pour des étoiles dont la métallicité est comprise entre 1/10 et 1/100 de la valeur solaire. Cet effet peut se comprendre dans le cadre d'un modèle d'évolution chimique simple par le fait que le thorium est radioactif. Pour des métallicités d'environ [Fe/H]=-2,3, le rapport [Th/Eu] croît rapidement. Une des interprétations de cet

effet est que le site de formation du thorium est différent du site de formation de l'euporium. Les sites de nucléosynthèse de l'euporium seraient situés dans des supernovae dont la masse initiale serait comprise entre 12 et 20 masses solaires. Quant au thorium, la masse initiale supérieure serait plus proche de 25 masses solaires. De nouvelles observations ont été effectuées très récemment au CFH. Ces nouvelles données sont nécessaires à une étude complète du problème. Une étude plus poussée dans le cadre d'un modèle d'évolution chimique de la Galaxie, actuellement en cours, pourra fournir des informations essentielles sur les échelles de temps de formation de notre galaxie.

P. Francois

Spectro-imagerie à 3.28 μm de galaxies "Starburst"

Introduction

Le motif spectral en émission à 3.28 μm a été attribué de manière convaincante à des Molécules Polycycliques Aromatiques (PAHs) chauffées de façon impulsionnelle par des photons UV individuels. Dans le milieu interstellaire normal, ces PAHs sont mélangés intimement avec la poussière et la relation $L_{3.3} \propto L_{UV} \propto L$ est grosso-modo valide; c'est ce qui a fait que la raie à 3.28 μm a longtemps été considérée comme un bon traceur du rayonnement UV. Cependant, on sait que la destruction de ces PAHs doit intervenir dans des conditions énergétiques plus sévères: c'est ce que montre par exemple l'absence de raie à 3.28 μm dans les noyaux de galaxies dominés par un NAG (Desert & Dennefeld, 1988), ou le déficit de la bande IRAS à 12 μm ou du motif à 3.3 μm au centre des régions H⁺ (Boullanger et al., 1988 & Giard et al 1993): dans ce cas, l'intensité de la raie n'est plus, localement, proportionnelle à la densité de rayonnement UV. L'imagerie en bande étroite peut donc être un moyen intéressant pour sonder les conditions énergétiques locales, dans la mesure où le rapport raie/continuum, à peu près proportionnel à l'abondance des PAHs, devrait être un indicateur sensible de la destruction des PAHs par les photons UV ou par des chocs. Nous présentons ici des résultats préliminaires d'un programme qui vise à la cartographie à 3.3 μm de plusieurs noyaux de galaxies à flambée de formation stellaire. Les observations ont été menées à l'automne 1992 et au printemps 1993, grâce à la caméra *Circus* montée au foyer f/36. Les conditions de qualité d'image étaient standards pour le CFHT: en général $\Theta < 0.6''$ pour des pixels de 0.25 ou de 0.5". La très grande capacité en charges stockables du détecteur, une mosaïque 128 x 128 d' *Amber Eng.*, permet des temps d'intégration élémentaires longs, même sous fort fond thermique, ce qui garantit a) d'être limité par le bruit du rayonnement de fond seulement b) un très bon rendement d'observation.

L'archétype des galaxies "Starburst": M82

Le spectre de M82, la plus proche (3.2 Mpc) des galaxies à flambée, est souvent présenté comme le prototype de ceux présentant les raies infrarouges caractéristiques à 3.3, 6.2, 7.7 et 11.3 μm . Notre carte en large bande à 3.3 μm (Fig. 17) montre une bonne correspondance avec l'image à 2.2 μm , mais aussi en partie avec les deux sources brillantes à 12 μm , une indication que les étoiles et la poussière chaude contribuent au continuum à 3.3 μm . La carte du rapport raie/continuum (Fig. 18), révèle en