Recherche d'étoiles du halo par mouvement propre

Bertrand Goldman
Universidad de Chile, Santiago
D.A.P.N.I.A./S.P.P., Saclay
Observatoire européen austral, Santiago

Résumé

Une des méthodes possibles pour chercher des étoiles de type naine blanche ou naine brune, candidats pour la matière noire, consiste à chercher des objets faiblement lumineux et très proches du Soleil, qui pourraient donc se trouver en grand nombre dans la Galaxie sans être visibles. Pour cela on peut comparer des images du ciel prises à deux époques différentes et mesurer le déplacement des objets : seuls les plus proches peuvent avoir bougé. Grâce au télescope à grand champ de la collaboration EROS, nous pouvons appliquer ce procédé à une grande surface du ciel, et améliorer les contraintes actuelles de la composition stellaire du voisinage solaire.

1. Introduction : la matière noire galactique

Parmi les candidats de la matière noire baryonique se trouvent les objets compacts : les objets sous-stellaires, trop légers pour que les réactions thermonucléaires équilibrent la gravité, qui refroidissent lentement, en l'absence de source d'énergie suffisante, et qui sont appelés naines brunes, et les résidus stellaires, dont la masse ne suffit pas à déclencher les réactions nucléaires des éléments lourds (carbone, oxygène généralement) que les réactions précédentes ont fabriqués, qui refroidissent également après une phase très chaude, et qui sont des naines blanches, pour les plus nombreux.

Selon le processus de formation de la Galaxie adopté, il est possible qu'une première génération d'étoiles se soit formée quand la Voie Lactée était encore très jeune ; avec une distribution de masse favorable de ces étoiles, le disque de la Galaxie pourrait baigner dans un halo plus ou moins sphérique d'étoiles plus vieilles que le disque, qui auraient eu le temps de se refroidir.

Selon d'autres modèles, ces étoiles qui formeraient le halo auraient été accrétées par la Voie Lactée, qui aurait capturé des galaxies voisines, de même qu'elle capture maintenant les nuages de Magellan, galaxies naines satellites de la Voie Lactée.

Les recherches d'effet de microlentille ont révélé l'existence d'objets dans la direction des nuages de Magellan [1], sans pouvoir encore en préciser la nature avec certitude. Nous n'avons toujours pas observé de tels objets directement. Leur masse approximative semble indiquer qu'il s'agit de résidus stellaires (de masse voisine de $1 M_\odot$ par opposition aux objets sous-stellaires, de masse inférieure à $0,1 M_\odot$), s'il s'agit bien effectivement d'objets du halo. Une étape importante qui reste à franchir est donc d'observer directement les objets qui forment le halo galactique, de façon à pouvoir déterminer leurs caractéristiques (spectre, âge, composition), et par là contraindre les modèles de formation galactique.

2. Principe des observations

Les observations passées ont montré que pour que la matière noire puisse être formée de naines blanches ou de naines brunes, il faut que ces objets soient très peu lumineux. Il faut donc les chercher dans le voisinage solaire, dans un rayon de 100 parsecs (pc) ou 320 années-lumière. Il devient alors nécessaire de distinguer ces objets proches et peu lumineux des étoiles ordinaires, lointaines et intrinsèquement plus lumineuses, qui sont plus nombreuses.

Pour ce faire, on peut utiliser le fait que les étoiles possèdent un *mouvement propre* par rapport au Soleil. Ainsi, les étoiles du disque galactique comme le Soleil, possèdent en plus de leur mouvement de rotation d'ensemble (environ 220 km/s), une dispersion de vitesse comprise entre 20 km/s pour les étoiles les plus jeunes, et 45 km/s pour les étoiles les plus vieilles. Les objets du halo possèdent une dispersion de vitesse encore plus grande (supérieure à 150 km/s).

Il sera donc possible de distinguer les objets proches, dont le mouvement angulaire propre sera mesurable, des étoiles lointaines, dont le mouvement angulaire sera infime. Donnons quelques ordres de grandeur : une étoile du disque de type solaire située à 1 kpc aura une vitesse angulaire typique de $\mu = 0,01''$/an, tandis qu'une naine

* Contribution aux 6^{mes} Journées des Jeunes Chercheurs, Benodet, Décembre 1997

blanche du halo situé à 20 parsecs aura une vitesse de 2"/an, pour la même magnitude apparente.

La résolution angulaire des caméras d'EROS 2 est 0,6"/pixel, et la précision astrométrique (mesure des positions des objets célestes) varie de 0,05" (limite à haut flux) à 0,25" (au seuil inférieur de détection des étoiles).

Il est prévu que les observations soient effectuées chaque année, pendant la durée de l'expérience, soit cinq ans, sur 250 degrés carrés ($0,6\%$ du ciel).

3. Objectifs et Résultats actuels

3.1. Prévisions pour un modèle standard de halo

La forme des courbes de vitesse de la Galaxie semble indiquer la présence d'une densité de masse invisible de $0,01 M_\odot/pc^3$. Cette valeur cependant dépend de la forme du halo et des modèles de potentiel utilisés. Il y aurait donc approximativement si le halo était entièrement composé de naines blanches de $1 M_\odot$ 0,01 objet/pc^3, et s'il était entièrement composé de naines brunes de $0,1 M_\odot$ 0,1 objet/pc^3.

D'après les études passées, en particulier celle du Hubble Deep Field [2], ces objets doivent avoir une magnitude supérieure à 17,6 dans la bande rouge ($mag_R = c^{te} - 2,5 \cdot log_{10}(flux_R) = c^{te} + 5 \cdot log_{10}(d)$). La limite de détection de nos images étant de $20,5^{mag}$ environ, on pourra détecter ces objets jusqu'à une distance de $40pc$; la précision astrométrique permet de détecter leur déplacement et n'impose pas de limite plus proche. On observera donc un volume de $4/3 \cdot \pi \cdot 40^3 \cdot 6.10^{-3} = 1600pc^3$, soit une bonne douzaine de naines blanches (aucune n'étant connue aujourd'hui), ou 150 naines brunes (*idem*).

3.2. Résultats actuels

À ce jour 45 degrés carrés ont été analysés, par la comparaison de deux époques. Les déplacements des 150000 objets associés sont présentés dans la figure 1.

Dans une première analyse (avec époques), on peut retenir les déplacements de plus de 5 σ, en imposant un flux minimum élevé de 6000 photoélectrons. Parmi ces objets ceux du halo devraient se trouver au-dessus de la courbe indiquée sur la figure.

À cette étape il convient de noter que la plupart des *candidats* est probablement factice : ils sont dus à des effets de confusion lors de l'association des deux époques, une étoile étant par exemple associée avec un objet reconstruit sur un rayon cosmique. D'autres sont des galaxies, qui sont immobiles bien sûr mais dont l'astrométrie est plus difficile. Enfin d'autres sont dus aux différences de conditions observationnelles, atmosphériques en particulier.

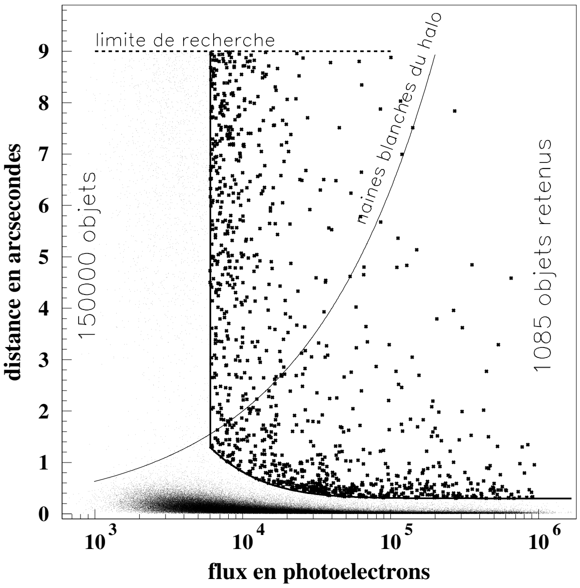

Fig. 1. *Déplacement des étoiles en un an en fonction du flux. Les objets sélectionnés sont en marque épaisse. Est indiquée la distance maximale de recherche à 9", soit un tiers de la distance moyenne entre deux objets reconstruits.*

Dans une seconde analyse (en 1998), ces faux candidats pourront être éliminés en imposant un mouvement rectiligne, et les seuils pourront être abaissés.

4. Conclusion

On a décrit ici une méthode ancienne qui permettra d'étudier et de contraindre l'existence et la composition du halo. L'utilisation de données CCD, obtenues avec un faible espacement temporel, est particulièrement adaptée à la recherche d'étoiles, faibles, très proches et très rapides.

Aujourd'hui un certain nombre d'étoiles semble candidat pour appartenir au halo. Quand il aura été nettoyé, il importera de réaliser à partir de ce catalogue de la spectroscopie et des mesures de distance par parallaxe pour confirmer la nature de ces objets (naines blanches du halo, étoiles de faible masse) et pour connaître avec précision leur caractéristique spectrale, leur composition et leur âge.

References

[1] Cristina Afonso, voir ces Actes-ci.

[2] Bahcall, J., Flynn, C., Gould, A. & Kirhakos, S. 1994, *Ap.J.*, **435**, L51.