

allemand Wolfgang Brandner, nous avons récemment observé une paire serrée de naines brunes proches, qui devrait fournir, d'ici à dix ans, la première confirmation dynamique des masses des naines brunes (la détermination de la période de rotation permet une mesure précise des masses).

Ainsi, le désert de naines brunes n'est qu'autour d'étoiles massives.

Autour des objets légers (petites étoiles ou naines brunes), les chances de trouver un compagnon qui soit une naine brune sont supérieures. Cette différence résulte probablement des mécanismes – encore inconnus – qui créent les systèmes binaires. Ces mécanismes semblent moins favorables à la production d'un système où l'objet principal a plus de dix fois la masse du compagnon.

Des naines brunes partout

Une autre technique a aussi révélé des naines brunes isolées, perdues au milieu des myriades d'étoiles de la Galaxie : on cartographie de grandes zones du ciel avec un instrument particulièrement sensible aux sources rouges de faible intensité. La première naine brune ainsi décelée l'a été par Maria Teresa Ruiz, de l'Université du Chili, en 1997. Elle l'a nommée Kelu-1, d'après un mot indien qui signifie rouge. Du lithium y a été détecté. À peu près au même moment, le relevé DENIS (*Deep Near-Infrared Survey*, ou «relevé profond dans le proche infrarouge»), un projet européen de recensement du ciel austral dans l'infrarouge, a révélé trois objets similaires. Les astronomes ont rapidement confirmé la présence de lithium dans l'un d'eux.

L'étude de ces objets a fourni des indices sur l'atmosphère des naines brunes : la composition de la lumière visible qu'ils émettent révèle une absence de molécules d'oxyde de titane et d'oxyde de vanadium, qui dominent le spectre des étoiles peu massives. Ces molécules n'apparaissent pas dans les atmosphères des naines brunes, parce que les éléments lourds qui les composent se condensent en grains de poussières réfractaires qui restent solides aux faibles températures des naines brunes. Pour les naines brunes, les principales raies du spectre dans le visible sont celles de métaux alcalins neutres comme le sodium, le potassium, le rubidium, le césium et, parfois, le lithium.

L'équipe 2MASS (acronyme de *Two Micron All-Sky Survey*, soit «recensement de la voûte céleste à deux micromètres») de l'Université du Massachusetts a également trouvé des naines brunes dans notre Galaxie (près de 100 candidates) et a confirmé la présence de lithium pour une vingtaine d'entre elles. La plupart de ces objets ont des températures de surface comprises entre 1 600 et 2 200 kelvins, et leur âge est sans doute inférieur à un milliard d'années. En raison de leur jeunesse, ces objets sont relativement brillants et, donc, plus faciles à observer que des objets plus vieux.

La chasse aux naines brunes isolées plus âgées est restée infructueuse jusqu'à l'été 1999, quand le recensement numérique *Sloan* a révélé deux naines

Les naines brunes de DENIS

À la fin de l'année 2000, après cinq années d'observations continues sur un télescope de un mètre de diamètre, la phase d'acquisition des données DENIS s'achèvera. Ce premier programme de cartographie numérique du ciel austral en infrarouge proche (entre 0,8 et 2,5 micromètres) a été réalisé à l'Observatoire européen austral (ESO), au Chili, par l'Observatoire de Paris, en association avec plusieurs partenaires français et européens.

L'un des résultats les plus spectaculaires de ce programme, comme de son homologue américain 2MASS, a été la découverte du premier échantillon de naines brunes et d'étoiles de très faible masse isolées, c'est-à-dire non associées à un amas d'étoiles jeunes comme les Pléiades, ni à une étoile sous forme d'un système binaire, comme Gliese 229A/B. Xavier Delfosse et Thierry Forveille, de l'Observatoire de Grenoble, ont particulièrement contribué à ce travail de pionnier en extrayant les candidates dans la base de données DENIS et en participant aux observations spectroscopiques nécessaires à la confirmation du statut de naines brunes des candidates.

En comparant les propriétés observées et les prédictions, les astronomes améliorent les modèles et comprennent mieux la formation et l'évolution de ces objets singuliers. Reste à constituer des échantillons complets et fiables, c'est-à-dire exhaustifs, jusqu'à une certaine valeur de la luminosité apparente, ce que seuls des relevés homogènes à très grande échelle permettent. Ainsi améliorera-t-on la connaissance de certaines données essentielles et mal connues de l'astrophysique, telles la répartition de la masse des étoiles lorsqu'elles se forment (la fonction de masse initiale) ou la densité spatiale des étoiles de masse inférieure à une valeur donnée. Ces estimations nécessitent la collecte d'échantillons de grande taille, de plusieurs centaines, voire de plusieurs milliers d'objets.

À terme, après l'analyse de l'intégralité des données, DENIS et 2MASS fourniront ces estimations, mais c'est un travail de tri énorme : un objet sur plusieurs centaines de milliers est retenu pour passer les tests spectroscopiques indispensables sur des télescopes géants où le temps d'observation est particulièrement coûteux.

L'horizon de ces relevés reste cependant limité : en raison de leur sensibilité, DENIS et 2MASS n'explorent le cosmos que jusqu'à une vingtaine de parsecs (65 années-lumière) pour les naines brunes isolées et à moins de 200 parsecs (650 années-lumière) pour les naines brunes associées à des amas jeunes ou à des régions de formation stellaire récente.

De nouveaux relevés à grande échelle, encore en projet, étendront la recherche dans l'espace, afin d'augmenter le volume de la Galaxie exploré, et aux plus grandes longueurs d'onde (entre trois à dix micromètres), afin de détecter des objets encore plus froids – c'est-à-dire plus vieux et / ou encore moins massifs. Pour l'instant, on ne sait presque rien de ces objets isolés, ni s'ils possèdent des planètes. Ces relevés répondront peut-être à ces questions dans la prochaine décennie.

Nicolas EPCHTEIN, Programme DENIS,
Observatoire de la Côte d'Azur, Nice



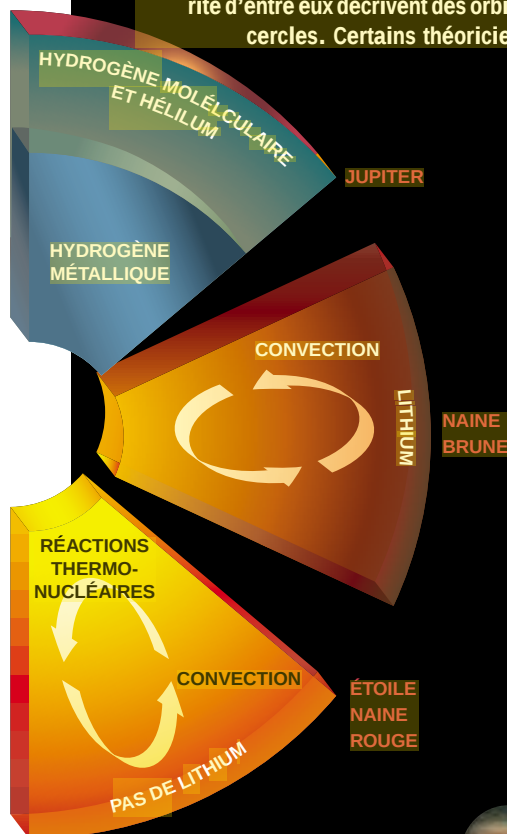
Planètes contre naines brunes

Existe-t-il une différence fondamentale entre les plus grosses des planètes et les plus petites des naines brunes? On supposait naguère que les planètes ne se forment pas de la même manière que les étoiles ou que les naines brunes. Les planètes géantes gazeuses se seraient formées par accréation de planétésimaux (de petits corps de roches ou de glaces) au milieu d'un disque de gaz et de poussières entourant une étoile. En quelques millions d'années, ces noyaux durs auraient attiré d'énormes enveloppes de gaz. Selon cette théorie, mise au point à partir de l'étude du Système solaire, toutes les planètes devraient se trouver en orbite quasi circulaire autour des étoiles, et les planètes géantes gazeuses devraient être sur des orbites relativement lointaines.

Ces prévisions ont été contredites par la découverte des premières planètes géantes extrasolaires : la plupart de ces corps ont été détectés sur des orbites proches de leur étoile, et la majorité d'entre eux décrivent des orbites allongées plutôt que des cercles. Certains théoriciens ont même prédit l'exis-

tence de planètes solitaires, éjectées de leur système stellaire par des interactions orbitales avec des planètes sœurs. Ainsi, les observateurs distinguent très difficilement les planètes des naines brunes à partir de leur lieu et de leur mode de formation, ou de leur situation et de leur mouvement actuels. On peut trouver des naines brunes isolées, d'autres sont des compagnons d'étoiles ou d'autres naines brunes. Il en est peut-être de même pour les planètes géantes.

Une nouvelle approche intéresse aujourd'hui les astrophysiciens : elle propose comme critère de distinction entre planètes et naines brunes l'allumage ou non des réactions de fusion nucléaire. Selon ce critère, la limite se situe à environ 13 masses de Jupiter. Au-delà de cette masse, la fusion du deutérium commence au sein de l'objet. Le fait que les naines brunes semblent être moins nombreuses que les planètes (du moins en tant que compagnons d'étoiles massives) est le signe de mécanismes de formation différents. Il est cependant beaucoup plus facile d'observer une distinction fondée sur la masse.



UN CONTINUUM D'OBJETS, des planètes aux étoiles (ci-dessous), montre que les naines brunes plus âgées, telle Gliese 229B, ont des tailles et des températures de surface très semblables à celles des planètes géantes gazeuses. Les naines brunes plus jeunes, telle Teide 1, ressemblent davantage à des étoiles peu massives du type de Gliese 229A. Les naines brunes et les étoiles peu massives sont totalement convectives, c'est-à-dire que leurs constituants sont brassés (à gauche). Les réactions nucléaires, au sein de l'étoile, détruisent complètement leur lithium, et la présence de celui-ci dans un objet est le signe qu'il peut s'agir d'une naine brune.

NOM	JUPITER	GLIESE 229B	TEIDE 1	GLIESE 229A	SOLEIL
TYPE D'OBJET	Planète géante gazeuse	Naine brune	Naine brune	Étoile naine rouge	Étoile naine jaune
MASSES (en masses de Jupiter)	1	30-40	55	300	1 000
RAYON (en kilomètres)	71 500	65 000	150 000	250 000	696 000
TEMPÉRATURE (en kelvins)	100	1 000	2 600	3 400	5 800
ÂGE (en années)	4,5 milliards	2-4 milliards	120 millions	2-4 milliards	4,5 milliards
FUSION DE L'HYDROGÈNE	Non	Non	Non	Oui	Oui
FUSION DU DEUTÉRIUM	Non	Oui	Oui	Oui	Oui

brunes dont l'atmosphère contient du méthane. La présence de méthane montre une température de surface inférieure à 1 300 kelvins, soit un âge supérieur à un ou deux milliards d'années. Au même moment, l'équipe 2MASS a signalé l'observation de quatre objets comparables. La majorité des naines brunes de notre Galaxie devraient renfermer du méthane, parce qu'elles se sont, pour la plupart, formées il y a longtemps, et qu'elles devraient avoir ainsi atteint ce stade de refroidissement. Toutefois, les découvertes ne représentent que la partie émergée de l'iceberg : les équipes 2MASS et DENIS ont établi que le nombre de naines brunes isolées dans les zones recensées équivaut au nombre d'étoiles peu massives dans ces mêmes zones. Ce résultat corrobore les conclusions précédentes, établies pour l'amas des Pléiades : les naines brunes semblent presque aussi nombreuses que les étoiles.

La phase initiale de découverte des naines brunes touche à sa fin. Les astronomes ont des méthodes de détection efficaces et de nombreuses candidates pour une étude détaillée. D'ici à quelques années, les astronomes préciseront les données fondamentales sur ces objets : leur nombre, leur masse, et leur répartition dans la Galaxie. Les astrophysiciens examineront également les mécanismes de formation, qu'il s'agisse de ceux de compagnons stellaires ou d'objets isolés, ainsi que les mécanismes qui refroidissent leur atmosphère. Il aura donc fallu attendre la fin du siècle pour que ces objets, pourtant aussi répandus que les étoiles, commencent à nous livrer leurs secrets !

Gibor BASRI est professeur au département d'astronomie de l'Université de Berkeley.

S.R. KULKARNI, *Brown Dwarfs : A Possible Missing Link between Stars and Planets*, in *Science*, vol. 276, pp. 1350-1354, 30 mai 1997.

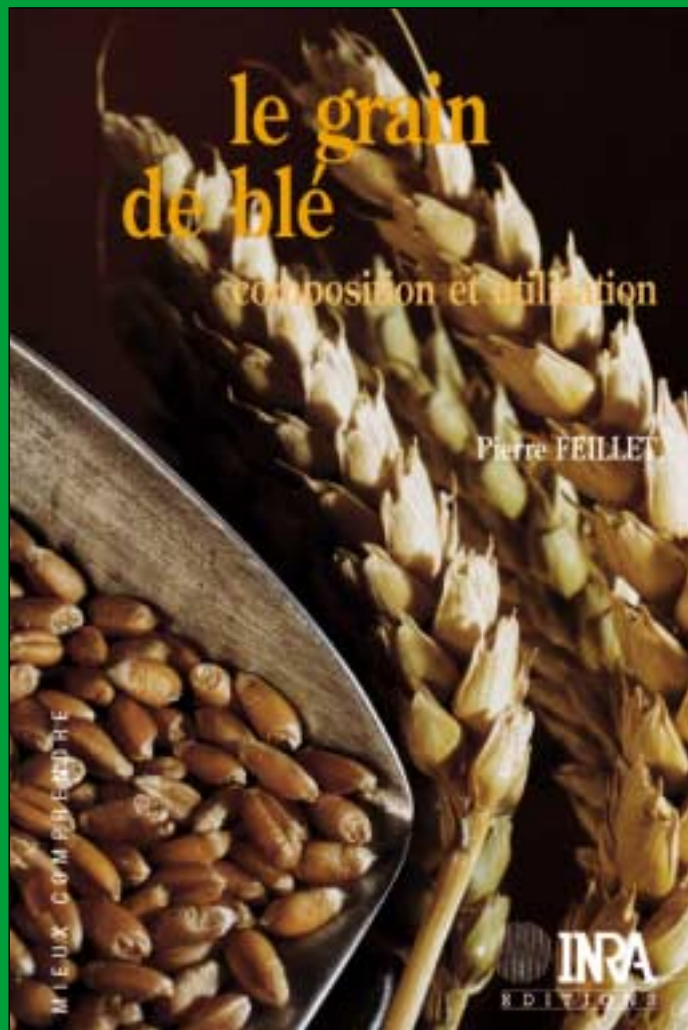
Ken CROSWELL, *Planet Quest : The Epic Discovery of Alien Solar Systems*, Free Press, 1997.

Brown Dwarfs and Extrasolar Planets, sous la direction de R. Rebolo, E.L. Martín et M.R. Zapatero Osorio, Astronomical Society of the Pacific Conference Series, vol. 134, 1998.

La recherche agronomique concerne notre quotidien

Pierre Feillet vous propose la synthèse complète des connaissances sur le blé : ses propriétés structurales et sa composition chimique, les bases technologiques et physico-chimiques de la fabrication des farines, semoules, pains, biscuits et pâtes alimentaires, les additifs et agents technologiques, les méthodes de contrôle de la qualité et aspects nutritionnels et l'économie de la filière blé.

Une référence pour les étudiants, les industriels et spécialistes du blé.



2000, 312 p., 330 FF (50,31€)



Catalogue et commande en ligne :
<http://www.inra.fr/Editions/>

Nos titres sont disponibles chez votre libraire et auprès de nos services :

INRA Éditions – RD 10 – 78026 Versailles cedex – France
tél : 33.(0)1.30.83.34.06 – fax : 33.(0)1.30.83.34.49 – minitel : 3614 INRA

Institut National de la Recherche Agronomique