

La découverte des naines brunes

GIBOR BASRI

Moins massives que les étoiles, mais plus massives que les planètes, les naines brunes semblaient être des objets astronomiques rares. De nouveaux recensements indiquent que ces objets sont peut-être aussi répandus que les étoiles.

Une naine brune est une étoile ratée. Dans une étoile, les réactions de fusion thermonucléaire entre les noyaux d'hydrogène libèrent d'énormes quantités d'énergie qui s'opposent à l'effondrement de la matière dû à la gravitation. Grâce à ces réactions, qui commencent dès que la température atteint trois millions de degrés, l'étoile brille. Or la température du cœur croît avec la pression gravitationnelle et, donc, avec la masse de l'objet. Ainsi, pour briller, un astre doit avoir au moins 75 fois la masse de la planète Jupiter, soit environ sept pour cent de la masse du Soleil. Les naines brunes sont des corps qui ont une masse inférieure ; elles sont plus massives que les planètes géantes, mais pas assez massives pour briller comme des étoiles.

Pendant des dizaines d'années, les naines brunes ont été le «chaînon manquant» de l'astronomie : on pensait qu'elles existaient, mais personne n'en avait observé. En 1963, à l'Université de Virginie, Shiv Kumar avait prédit que la contraction gravitationnelle, qui crée les étoiles à partir de grands nuages de gaz et de poussières,

créerait également de nombreux objets plus petits, des «naines brunes». Ce nom est trompeur, car les naines brunes apparaissent rouges, et non brunes, mais on avait déjà nommé «naines rouges» les étoiles dont la masse est inférieure à la moitié de celle du Soleil.

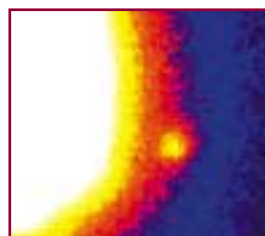
Au milieu des années 1980, les astronomes ont commencé la recherche systématique des naines brunes, mais ils n'ont découvert les premières qu'en 1995. Depuis, on en a trouvé des dizaines d'autres. Les observateurs et les théoriciens poursuivent aujourd'hui l'exploration. Combien y a-t-il de naines brunes ? Quelle est la gamme de leur masse ? Ont-elles toutes été créées de la même manière ?

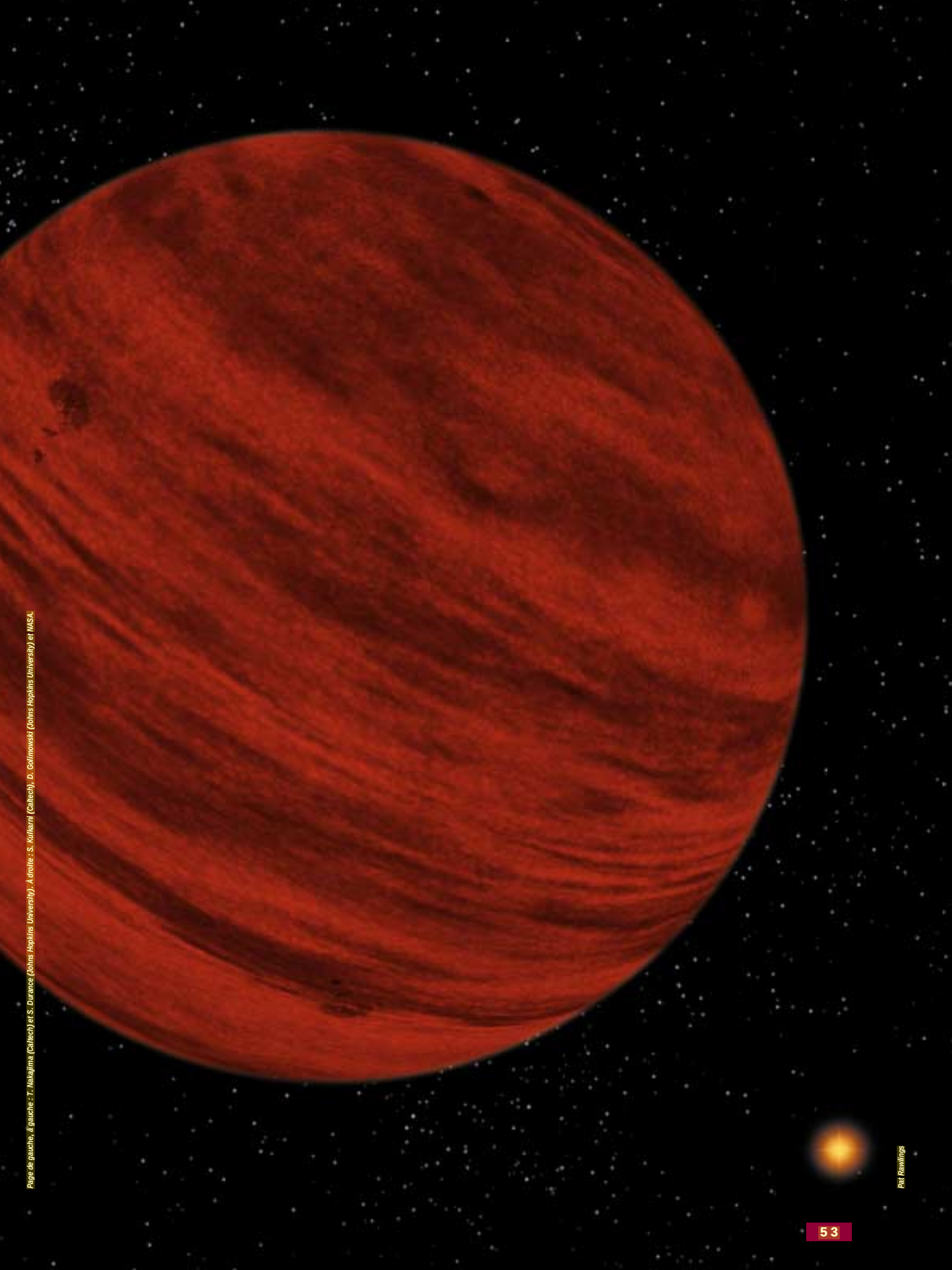
La découverte des naines brunes fut tardive, parce que ces objets sont peu lumineux. Pendant leur formation, tous les objets liés par la gravitation (étoiles, planètes et naines brunes) émettent de la lumière : celle-ci résulte de l'échauffement dû à la libération d'énergie au cours de la contraction gravitationnelle. Dans les étoiles, le rayonnement issu de la fusion de l'hydrogène prend le relais du rayonnement engendré par la contraction.

Lorsque cette fusion est amorcée, la taille et la luminosité de l'étoile restent constantes, le plus souvent pendant des milliards d'années. Dans les naines brunes, l'hydrogène ne fusionne pas et la luminosité décroît rapidement, tandis que la matière se contracte et se refroidit, émettant l'essentiel de son rayonnement dans le proche infrarouge (voir l'encadré de la page 57). Comme la luminosité des naines brunes est faible dès leur formation et qu'elle diminue ensuite, des astronomes pensaient que ces astres constituaient une part notable de la «matière noire», cette mystérieuse matière invisible dont la masse est bien supérieure à celle des objets lumineux de l'Univers.

Où chercher ces astres peu brillants ? On a d'abord pensé à les regarder près d'étoiles connues. Plus de la moitié des étoiles de notre Galaxie sont dans des systèmes binaires (où deux étoiles sont en orbite autour de leur centre de gravité commun), et les astronomes soupçonnaient que de nombreuses étoiles apparemment seules avaient pour compagnon une naine brune encore indétectée. Pour voir des naines brunes, on prévoyait ainsi

1. LA NAINE BRUNE GLIESE 229B émet une lueur rougeâtre sur le dessin de la page ci-contre. On pense que cet objet est légèrement plus petit que Jupiter, mais environ 10 fois plus chaud, et 30 à 40 fois plus massif. Le compagnon de l'étoile naine rouge Gliese 229A (vue d'artiste page ci-contre) a été découvert en 1995. Les astronomes ont détecté la naine brune sur des clichés du télescope de 1,5 mètre de diamètre de l'Observatoire du mont Palomar (en médaillon de gauche) et du Télescope spatial Hubble (médaillon de droite) : c'est la petite tache que l'on distingue près de la naine rouge. Gliese 229B se trouve en réalité à plus de six milliards de kilomètres de son étoile compagnon (une distance supérieure à la distance entre Pluton et le Soleil).





de les chercher au voisinage immédiat d'étoiles connues.

Très vite, la stratégie sembla prometteuse : en 1988, Eric Becklin et Benjamin Zuckerman, de l'Université de Los Angeles, repèrent un candidat. Cet objet, GD 165B, est le compagnon rouge et peu brillant d'une naine blanche (les naines blanches sont les restes d'étoiles modérément massives, plus petites, plus chaudes et bien plus massives que les naines brunes). Les mesures indiquaient pour GD 165B une masse 75 fois supérieure à celle de Jupiter, proche de la limite entre les naines brunes et les étoiles peu massives, de sorte que son appartenance à l'une ou à l'autre de ces classes restait discutée.

La recherche de naines brunes comme compagnons d'étoiles présente un autre avantage : la détection directe n'est pas nécessaire. Comme pour la détection des planètes extrasolaires, on cherche les naines brunes en observant les mouvements périodiques des étoiles autour desquelles elles gravitent. Et plutôt que de mesurer les déplacements infimes des compagnons, on observe les décalages Doppler des rayonnements émis par ces étoiles (lorsqu'une étoile s'approche de nous, sa lumière est décalée vers le bleu ; quand elle s'éloigne, la lumière est décalée vers le rouge). Cette méthode est en réalité plus efficace pour la détection des naines brunes que pour celle des planètes : la masse des naines brunes étant supérieure à celle des planètes, le déplacement de l'orbite de l'étoile compagnon est supérieur, et sa mesure facilitée.

Pourtant, Geoffrey Marcy, de l'Université de San Francisco, n'a trouvé aucune naine brune au cours du recensement de 70 étoiles peu massives qu'il a effectué à la fin des années 1980. Puis, au milieu des années 1990, l'étude de 107 étoiles semblables au Soleil a révélé près d'une dizaine de planètes, mais aucune naine brune

avérée. Les naines brunes semblaient bien moins répandues que les planètes géantes ou que les étoiles. Pourquoi ce «désert de naines brunes» ?

Une seule des premières études révéla une candidate naine brune : après l'examen du décalage Doppler de 1 000 étoiles, au Centre d'astrophysique Harvard-Smithsonian, David Latham trouva, en 1988, un compagnon stellaire dont la masse était plus de onze fois celle de Jupiter. Toutefois, la mesure du décalage Doppler ne

fournissait qu'une limite inférieure pour la masse du compagnon, de sorte que cet objet peut être une étoile de très faible masse plutôt qu'une naine brune. Pour connaître sa véritable nature, on devra déterminer les positions des étoiles avec une précision accrue.

Parallèlement, d'autres astronomes ont employé une méthode différente, fondée sur le fait que les naines brunes jeunes sont plus brillantes que les naines brunes âgées. Or, les meilleurs endroits pour chercher des objets jeunes sont

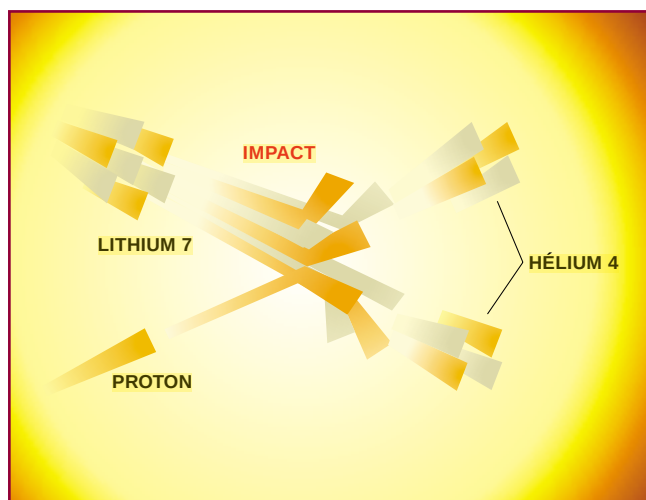
les amas d'étoiles. En effet, les étoiles d'un amas se forment toutes en même temps, mais elles n'ont pas toutes la même durée de vie. Les étoiles les plus massives subsistent pendant quelques millions d'années «seulement» avant de consommer tout leur hydrogène, alors que les étoiles de faible masse brillent pendant des milliards, voire des milliers de milliards d'années. C'est pourquoi on date les amas en cherchant leur étoile la plus massive encore située sur la séquence principale (la séquence principale correspond à la période au cours de laquelle les réactions nucléaires transforment l'hydrogène de l'étoile en hélium) : l'âge de l'amas est du même ordre que la durée de vie de cette étoile.

Après avoir localisé un amas jeune et déterminé son âge, les astronomes n'ont plus qu'à y rechercher les objets les moins lumineux et les plus rouges (donc les plus froids). Pour une étoile de masse et d'âge donnés, la théorie de l'évolution stellaire donne la température de surface et la luminosité. Ainsi, en mesurant ces caractéristiques, les astronomes estiment la masse de chaque candidate. Plusieurs équipes se sont attelées à la tâche, étudiant les régions du ciel qui contiennent des amas jeunes et y repérant les objets rouges faibles.

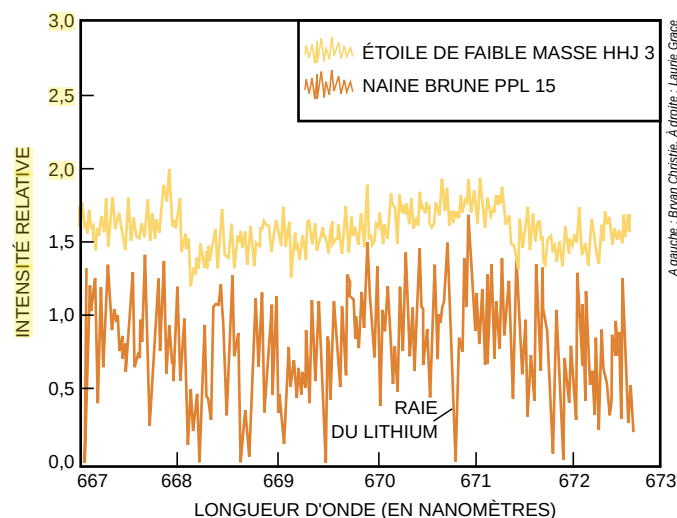
Ces équipes ont annoncé la découverte d'une série d'objets qui seraient des naines brunes dans les amas jeunes, notamment dans la



2. L'OBSERVATION D'OBJETS PEU BRILLANTS, comme les naines brunes, nécessite des stratégies spécifiques. Certains astronomes cherchent des naines brunes parmi les compagnons d'étoiles connues ; c'est la méthode qui a identifié Gliese 229B (en haut à gauche). D'autres équipes s'intéressent plutôt aux amas stellaires jeunes, parce que c'est dans leur prime jeunesse que les naines brunes sont les plus brillantes. Les astronomes ont scruté l'amas des Pléiades, vieux de 120 millions d'années seulement (en haut à droite), et y ont trouvé de nombreuses naines brunes, telle PPL 15 (en médaillon au centre). Enfin, on détecte aussi des naines brunes isolées en enregistrant la lumière de grandes zones célestes à l'aide d'instruments sensibles aux sources rouges peu brillantes. La découverte de la première naine brune isolée, Kelu-1 (image du bas) date de 1997.



3. L'ANALYSE DU SPECTRE des objets peu lumineux discrimine les étoiles des naines brunes. Toutes les étoiles détruisent le lithium de leur cœur ; dans cette réaction, un proton heurte un atome de lithium 7 (un isotope du lithium dont le noyau est composé de trois protons et quatre neutrons), qui se scinde alors en deux atomes d'hélium 4 (à gauche). Seules les plus massives des naines brunes ont une



A gauche : Bryan Christie. À droite : Laurie Grace

température interne suffisante pour que cette destruction du lithium ait lieu. Dans la plupart des naines brunes, le lithium reste présent. Le spectre de HHJ 3 (à droite, ligne jaune), une étoile peu massive de l'amas des Pléiades, n'a aucune trace de lithium. En revanche, le spectre de la naine brune PPL 15 (ligne rouge) possède une raie d'absorption qui indique la présence de cet élément.

région de formation d'étoiles de la constellation du Taureau et dans l'amas des Pléiades. Malheureusement, une étude approfondie a montré qu'aucune de ces candidates n'était une naine brune. Certaines étaient des étoiles rouges géantes, situées à des milliers d'années-lumière derrière l'amas : c'est l'éloignement qui les fait paraître si peu brillantes, mais elles sont intrinsèquement très lumineuses. D'autres étaient des étoiles peu massives situées devant ou derrière l'amas. Ces annonces prématurées ont renforcé le scepticisme des astronomes et fait penser que les naines brunes étaient vraiment rares.

À la recherche du lithium

Toutefois, en 1992, Rafael Rebolo, Eduardo Martín et Antonio Magazzu, de l'Institut d'astrophysique des îles Canaries, ont proposé une autre méthode pour différencier les étoiles peu massives et les naines brunes : le «test du lithium». Ce test utilise le fait qu'une naine brune d'une masse inférieure à 60 fois la masse de Jupiter n'est ni assez comprimée ni assez chaude pour que le lithium y fusionne : cette réaction commence à une température légèrement inférieure à celle de la fusion de l'hydrogène, de sorte que les étoiles classiques, qui atteignent facilement des températures importantes, épuisent rapidement leurs réserves initiales de lithium. Même les étoiles les moins massives brûlent tout leur lithium en 100 millions d'années envi-

ron, alors que la plupart des naines brunes (excepté les plus massives d'entre elles) conservent leur lithium. Ainsi, la présence de lithium dans un astre montre que ce dernier a une masse inférieure à celle d'une étoile.

Les raies spectrales du lithium sont assez intenses dans les objets rouges froids. L'équipe des Canaries a recherché ces raies dans les objets les plus froids du ciel suffisamment brillants pour que l'on obtienne un spectre d'une qualité satisfaisante : aucun ne contenait de lithium. Puis, en 1993, avec G. Marcy et James Graham, j'ai repris le test du lithium pour étudier des objets moins brillants, à l'aide du télescope Keck de dix mètres de diamètre, à Hawaï. Nous n'avons pas non plus observé de lithium... jusqu'à ce que nous pointions le télescope vers l'amas des Pléiades.

Des astronomes britanniques venaient de réaliser un recensement détaillé de cet amas. Ils avaient détecté plusieurs objets qui, en principe, devaient être moins massifs que des étoiles. Ils ont montré que ces objets se déplaçaient dans le ciel avec l'amas, et qu'ils étaient donc des membres de l'amas, et non des étoiles situées devant ou derrière. Nous avons sélectionné le moins brillant, un objet nommé HHJ 3, nous attendant à y trouver du lithium : il n'y en avait pas. Toutefois, notre collègue John Stauffer nous proposa une autre cible, parce qu'il avait également sondé les Pléiades à la recherche d'objets peu massifs et y avait décelé

une candidate encore moins brillante : PPL 15 (la quinzième candidate du relevé effectué au mont Palomar, dans la constellation des Pléiades). Ce fut un succès : pour la première fois, nous détectons du lithium dans un objet dont la masse semblait inférieure à celle d'une étoile. Nos résultats indiquaient que l'amas avait environ 120 millions d'années, d'où l'on déduisait une masse de PPL 15 à la limite supérieure du domaine des naines brunes.

La même année, en 1995, le groupe des Canaries avait également cartographié l'amas des Pléiades et détecté deux objets encore moins brillants que PPL 15 : Teide 1 et Calar 3. Tous deux avaient une masse supposée légèrement inférieure à 60 masses de Jupiter. À la fin de l'année, je me suis joint au groupe des Canaries, et nous avons confirmé la présence du lithium dans ces deux objets. La communauté astronomique est restée sceptique pendant quelques mois (après tout, ces objets ressemblaient à des d'étoiles), jusqu'à ce que de nouvelles découvertes confirment nos résultats.

À la même époque, une recherche d'un tout autre type a porté ses fruits de façon spectaculaire. Des astronomes de l'Institut de technologie de Californie et de l'Université Johns Hopkins étudiaient des étoiles proches peu massives, espérant trouver des compagnons qui soient des naines brunes. Ils avaient équipé le télescope de 1,5 mètre de diamètre du mont Palomar d'un instrument qui occultait la quasi-totalité