

Machine interne

Les étoiles puisent leur énergie dans la fusion de l'hydrogène. Les naines brunes sont trop petites pour maintenir ces réactions. Elles brillent grâce à l'énergie accumulée lors de leur formation. Les planètes comme Jupiter reflètent la lumière qu'elles reçoivent de leur étoile en plus de la chaleur issue de leur formation.

Atmosphère

Les étoiles, les planètes et les naines brunes ont toutes des atmosphères. Les naines brunes traversent différents stades : au début, l'atmosphère ressemble à celle d'une étoile naine rouge. Puis, avec le temps, la température baisse. Des nuages constitués de minéraux se forment. Enfin, ces nuages finissent par couler dans les profondeurs, et l'atmosphère supérieure ressemble à celle des planètes géantes gazeuses.

Fusion de l'hydrogène

Pas de nuages dans l'atmosphère

Nuages de titanate de calcium (CaTiO_3) et d'aluminate de calcium (CaAl_2O_4)

Nuages de silicate de magnésium (Mg_2SiO_4) et de fer

Chaleur et densité

Élevée

Faible

Pas de fusion de l'hydrogène

Gaz de monoxyde de carbone (en rouge)

Nuages de glace d'eau

Nuages de sels

Nuages de sulfure

Pas de fusion de l'hydrogène

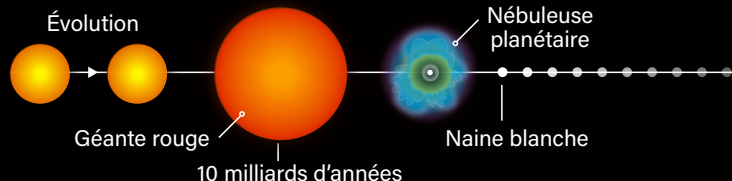
Gaz de méthane et d'ammoniac (en bleu)

Pas de fusion de l'hydrogène

Les coupes ne sont pas présentées à l'échelle

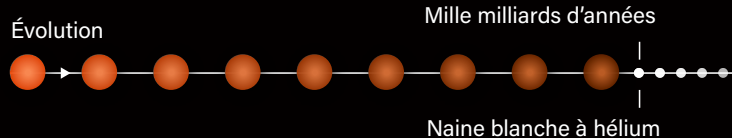
Étoiles naines jaunes

Le Soleil est un exemple de naine jaune. Ces étoiles brûlent l'hydrogène et produisent de l'hélium pendant 10 milliards d'années, jusqu'à épuiser presque tout l'hydrogène. Elles enflent alors pour devenir des géantes rouges, qui transforment l'hélium en carbone et d'autres éléments lourds. Quand ce carburant vient à disparaître, ces étoiles expulsent leurs couches externes qui deviennent des nébuleuses planétaires, et leur cœur s'effondre pour former des naines blanches denses et chaudes.



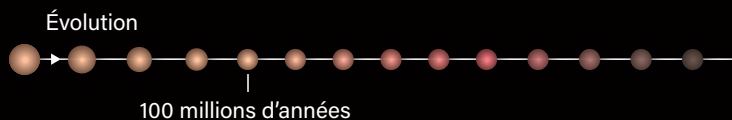
Étoiles naines rouges

Ce type d'étoiles est de loin le plus fréquent dans la Voie lactée. Ces astres sont plus froids et plus sombres que le Soleil. Ils transforment aussi l'hydrogène en hélium, mais leur évolution est encore plus lente que celle des naines jaunes. Ils pourraient vivre mille milliards d'années avant de manquer d'hydrogène. Quand cela sera le cas, ils deviendront également des naines blanches.



Naines brunes

Ces corps ne sont pas des étoiles, car leur masse est trop faible pour produire une pression suffisante à initier les réactions de fusion de l'hydrogène. Elles brillent grâce à la chaleur emmagasinée pendant leur formation. Elles ne meurent pas ni ne se transforment en un autre type d'astre. Elles deviennent juste plus sombres et plus froides.



Planètes géantes gazeuses

Au lieu de se former lors de la condensation de vastes nuages de gaz comme les étoiles et les naines brunes, les planètes géantes gazeuses naissent dans le disque protoplanétaire entourant des étoiles jeunes. Jupiter et Saturne sont les plus grandes planètes du Système solaire et sont composées principalement d'hydrogène et d'hélium. Comme les naines brunes, elles n'offrent pas les conditions nécessaires à la fusion thermonucléaire.

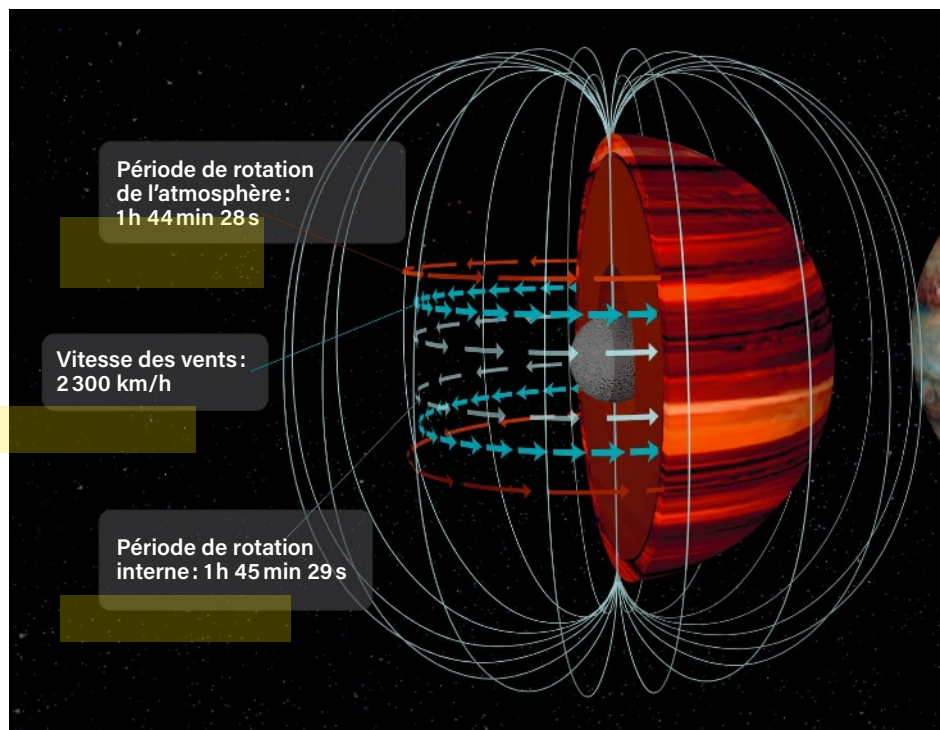
un peu étoffé sans être encore très riche. Comme mon directeur de thèse travaillait sur la formation des étoiles, j'ai décidé de chercher des naines brunes dans les régions où naissent les étoiles. J'en ai découvert certaines dont la masse les rapproche des planètes. À cette époque, nous n'avions aucune idée de la façon dont ces objets se forment. Nous ne savions pas s'il y avait une limite de masse inférieure, mais nous trouvions des naines brunes toujours plus petites.

Mon travail de thèse a conduit à la découverte d'une vingtaine de ces astres, qui ont contribué à leur compréhension. Depuis, le *2-Micron All Sky Survey* (2MASS), un programme d'observation infrarouge mené au début des années 2000, et le *Wide-Field Infrared Survey* (WISE), un télescope spatial lancé en 2009, en ont découvert bien d'autres. Le nombre actuel de naines brunes s'élève à environ 3000. Mais il en reste encore beaucoup d'autres à localiser. Les estimations suggèrent que la Voie lactée en contiendrait entre 25 milliards et 100 milliards.

NÉES COMME DES ÉTOILES OU COMME DES PLANÈTES ?

En tant que limite inférieure pour la masse nécessaire à la formation des étoiles, les naines brunes offrent aux astronomes une chance unique d'approfondir leur compréhension des étapes fondamentales de la naissance des étoiles, mais aussi de celle des planètes. Les étoiles se forment dans des nuages moléculaires, de vastes régions riches en gaz (principalement de l'hydrogène moléculaire) et en poussière. Si la masse d'un nuage moléculaire est suffisamment grande, la gravité peut y vaincre la pression du gaz soutenant le nuage et le faire s'effondrer sur lui-même. Il forme alors une ou plusieurs étoiles. Pendant l'effondrement, tout mouvement de rotation dans le nuage, même infime, est amplifié, de la même façon que les patineurs sur glace tournent plus vite quand ils rapprochent leurs bras de leur corps. Cette rotation dans le nuage conduit à la formation d'un disque circumstellaire de matière entourant l'étoile naissante. Ce disque est alors le creuset d'où émergent des planètes.

Quand les naines brunes ont été découvertes, les astronomes supposaient qu'elles naissaient selon le même processus que les étoiles. Mais ils étaient perplexes quant à la manière dont la gravité d'une si petite masse était capable de surmonter la pression du gaz et initier un effondrement. Dans les années 2000, les chercheurs ont imaginé divers scénarios et conçu des projets d'observation pour distinguer ces différentes hypothèses. Certaines théories suggéraient que des perturbations empêchaient des étoiles en formation d'atteindre leur masse finale. Selon d'autres pistes, des processus physiques provoquaient



Pour mesurer la vitesse des vents à la surface de la naine brune, Katelyn Allers et ses collègues se sont inspirés d'une technique utilisée sur Jupiter, qui consiste à évaluer la période de rotation des structures se déplaçant à la surface (et poussées par les vents) et d'estimer la période de rotation de la planète à partir des émissions radio émanant des couches plus profondes de l'atmosphère. Dans le cas de la naine brune 2MASS J10475385 + 2124234, les chercheurs ont montré que la différence entre les deux périodes mesurées était de 1 minute, ce qui correspond à une vitesse des vents de 2 300 kilomètres par heure.

l'éjection de la naine brune hors de son environnement natal à un stade prématuré ou conduisaient à la dispersion du nuage de gaz, ne laissant alors qu'une étoile miniature.

Il était aussi possible d'invoquer des versions «réduites» de la formation d'étoiles ou des versions «amplifiées» de la formation de planètes. Cette question est un bon exemple de cas où différentes théories entraînent des prédictions distinctes et vérifiables. Grâce à nos recherches, nous avons recolté de nombreuses informations : nous avons constaté l'ubiquité des disques circumstellaires autour des naines brunes, mesuré la distribution de masse des étoiles et des naines brunes dans divers environnements, déterminé l'orbite de ces dernières dans des systèmes binaires, etc. Avec ces données, il semblait plus probable que la majorité des naines brunes se forment comme des mini-étoiles, à partir de réservoirs de gaz modestes.

Le fait que les naines brunes présentent des disques circumstellaires a soulevé la possibilité qu'elles abritent des planètes. Bien que nous n'en ayons pas encore la preuve définitive, il y a de grandes chances que des planètes se développent dans ces disques tout comme elles le font autour des étoiles. Les scientifiques espèrent confirmer ce scénario dans les prochaines années.

Mais la question de l'origine des naines brunes n'est pas close pour autant. Récemment, des chercheurs ont découvert des naines brunes isolées avec des masses similaires à celles des planètes géantes (moins de 13 fois la masse de Jupiter), ce qui a relancé la