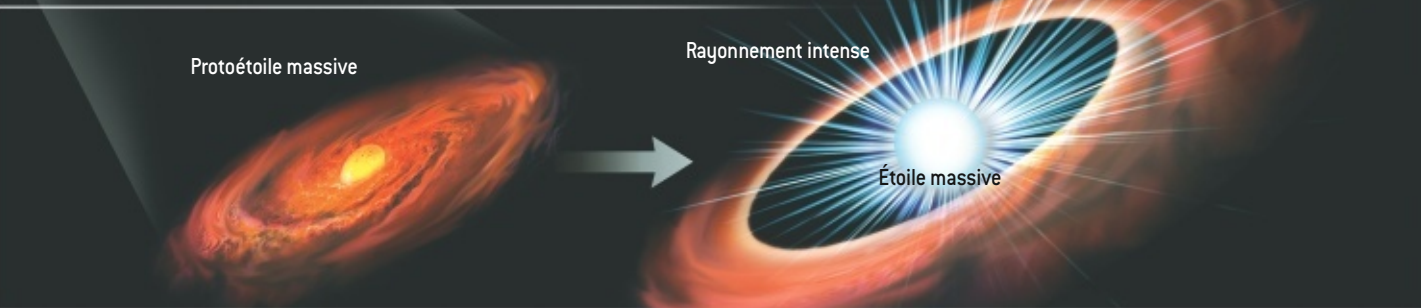


4. La protoétoile voit sa taille diminuer et sa densité augmenter. Elle devient une étoile quand la fusion nucléaire s'amorce en son centre. Des planètes émergent du matériau restant qui gravite autour d'elle.



**PROBLÈME N°4 :** Comment des étoiles massives peuvent-elles se former ? En atteignant une vingtaine de masses solaires, les étoiles deviennent tellement lumineuses qu'elles chassent le gaz environnant, bloquant leur propre croissance, ainsi que celle des étoiles voisines.



Don Dixon

atteignent environ 1 000 atomes par centimètre cube, ils sont assez épais pour bloquer le rayonnement ultraviolet énergétique des étoiles environnantes. Les atomes d'hydrogène peuvent alors se recombinaison et former des molécules, par un processus complexe faisant intervenir la catalyse des grains de poussière présents dans le nuage. Les observations en ondes radio ont montré que ces nuages dits moléculaires contiennent des composés allant de l'hydrogène moléculaire aux molécules organiques complexes, qui auraient pu jouer un rôle dans l'apparition de la vie sur Terre.

## Le chaînon manquant

Mais au-delà de ces étapes, la piste s'efface. Les observations infrarouges ont débusqué des étoiles naissantes profondément enchaînées dans la poussière, mais n'ont pu révé-

ler l'étape précédente, le passage des nuages moléculaires à ces protoétoiles.

Au milieu des années 1990, le satellite MSX et l'observatoire spatial infrarouge ISO ont découvert des nuages si denses (plus de 10 000 atomes par centimètre cube) qu'ils sont opaques même à l'infrarouge thermique qui pénètre d'habitude la poussière. Ces «nuages sombres dans l'infrarouge» sont beaucoup plus massifs (100 à 100 000 fois la masse du Soleil) que les nuages moléculaires standards. Ces dernières années, ces nuages ont été recensés dans deux relevés en infrarouge du plan de la Galaxie réalisés avec le télescope spatial *Spitzer* (relevés GLIMPSE et MIPS GAL, voir l'encadré page 52, en haut). Ils pourraient être le chaînon manquant entre les nuages moléculaires et les protoétoiles.

En fait, les nuages sombres et les cœurs denses représentent peut-être l'étape

cruciale de formation des étoiles : la masse de l'étoile serait déjà déterminée à ce stade par celle du nuage. Il existe des nuages de toutes masses ; les petits étant plus courants que les grands. Cette distribution de masse ressemble beaucoup à celle des étoiles, si ce n'est que les nuages sont trois fois plus massifs, ce qui suggère que seul un tiers de la masse d'un nuage se retrouve dans la nouvelle étoile. Le reste se perd dans l'espace d'une façon ou d'une autre.

Les mesures de la masse des nuages moléculaires ne sont cependant pas encore assez fiables pour que l'on puisse dire si ce parallèle entre la distribution de masse des étoiles et celle des nuages moléculaires est une vraie relation de cause à effet, ou une simple coïncidence. Mais, quel que soit le mécanisme qui fixe la masse d'une étoile, il détermine toute son histoire : étoile massive qui mourra jeune et explosera dans un

## L'ORIGINE DES NUAGES INTERSTELLAIRES

Les astronomes ont identifié les étapes par lesquelles les nuages se condensent à partir du gaz interstellaire et deviennent progressivement plus denses. L'étape précédant la formation d'une protoétoile est représentée par les « nuages sombres dans l'infrarouge ». Opaques même à la lumière infrarouge, ils apparaissent sous forme de bandes noires sur cette image du relevé GLIMPSE, réalisée par le télescope spatial infrarouge *Spitzer*. Leur taille et leur masse correspondent à ce qui est nécessaire pour former des étoiles.

The glimpse team, University of Wisconsin-Madison



cataclysme, ou étoile plus modeste qui vivra plus longtemps et disparaîtra en douceur.

Les astronomes font aussi des progrès sur la cause de l'effondrement d'un nuage ou d'un cœur dense. Dans le modèle classique, un cœur se trouve au départ en équilibre; la gravité et la pression extérieure exactement équilibrées par la pression interne thermique et magnétique, ou la turbulence. L'effondrement commence quand cet équilibre est perturbé au profit de la gravité. Mais quelle est la cause de ce déséquilibre? Les astronomes ont proposé de nombreux mécanismes. Une force extérieure telle que l'onde de choc d'une explosion de supernova pourrait comprimer le nuage. La pression interne pourrait aussi diminuer à mesure que la chaleur ou les champs magnétiques se dissipent.

## Spontané ou provoqué ?

Charles Lada, du Centre Harvard-Smithsonian d'astrophysique, et ses collègues privilégient la lente dissipation de la pression thermique. En cartographiant les nuages moléculaires aux longueurs d'onde millimétriques et submillimétriques, à cheval sur les bandes radio et infrarouge, ils sont parvenus à identifier un grand nombre de cœurs isolés relativement calmes dans des nuages proches. Certains présentent des signes de mouvements lents vers l'intérieur et pourraient s'apprêter à produire des étoiles. Un bon exemple en est Barnard 355, situé dans la constellation de l'Aigle. Son profil de densité correspond exactement à ce que l'on attendrait si la pression thermique du nuage était pratiquement à l'équilibre avec la pression extérieure. Une source infrarouge repérée au centre serait une protoétoile à un stade très précoce, suggérant que l'équilibre s'est récemment rompu dans le sens d'un effondrement.

D'autres études appuient l'hypothèse d'une cause extérieure. Thomas Preibisch, de l'Institut Max Planck de radioastronomie de Bonn, et ses collègues ont montré que des étoiles éparses de la région supérieure de la constellation du Scorpion se sont presque toutes formées en même temps. Cela serait une coïncidence extraordinaire que la pression interne des différents cœurs diminue au même moment. Une explication plus vraisemblable est qu'une onde de choc provoquée par une supernova aurait balayé la région et entraîné

## UN EFFONDREMENT PROVOQUÉ

Les manuels d'astronomie restent vagues sur les mécanismes de déstabilisation et d'effondrement des nuages moléculaires. Des images infrarouges de *Spitzer* révèlent que des étoiles massives proches en sont souvent responsables.

NASA, JPL/Caltech et Harvard Smithsonian Center for Astrophysics



**Ci-dessus.** Dans la région W5, des étoiles massives (en bleu) ont « nettoyé » une cavité dans le nuage moléculaire. Sur le bord se trouvent des protoétoiles (dans le gaz blanc-rose) qui ont toutes le même âge. Cette synchronicité résulterait de l'influence des étoiles massives.

**À gauche.** Dans l'amas NGC 2068, des protoétoiles sont alignées comme des perles sur un collier. Bien qu'éparses, elles se sont formées presque simultanément. Le responsable est sans doute aussi un groupe d'étoiles massives voisines.

E. Young et NASA

