

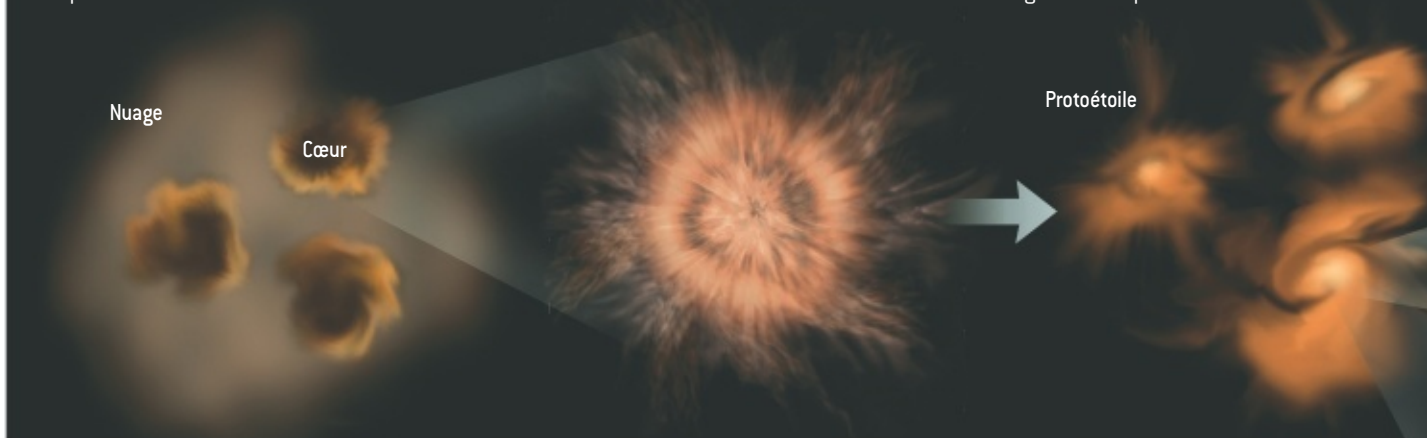
## UNE ÉTOILE EST NÉE... NON SANS MAL

La théorie classique de la formation stellaire explique parfaitement la naissance des étoiles isolées de masse faible à moyenne, mais les lacunes conceptuelles y sont encore nombreuses.

1. Le point de départ de la formation stellaire est un nuage moléculaire géant, c'est-à-dire une masse froide de gaz et de poussière.

2. Au sein du nuage, une région particulièrement dense (un cœur) s'effondre sous son propre poids.

3. Le cœur se fragmente en de multiples embryons stellaires. Dans chacun d'eux, une protoétoile forme un noyau et attire du gaz et de la poussière.



**PROBLÈME N° 1 :** D'où vient le nuage ? Un mélange de matériaux produits lors du Big Bang ou éjectés par les étoiles doit se condenser d'une façon ou d'une autre.

**PROBLÈME N° 2 :** Pourquoi le cœur s'effondre-t-il ? Le modèle ne dit pas comment l'équilibre des forces qui maintiennent le nuage dans un état stable est perturbé.

**PROBLÈME N° 3 :** Comment les embryons interagissent-ils ? La théorie classique traite les étoiles isolées, une par une.

stellaires. C'est l'éternel débat de l'inné et de l'acquis, à l'échelle cosmique...

Si vous regardez le ciel par une nuit bien noire, vous pourrez voir la traînée de lumière diffuse de la Voie lactée sur la voûte céleste. Elle est interrompue par des zones sombres : des nuages interstellaires, dont les particules de poussière interceptent la lumière des étoiles et les rendent opaques à la lumière visible.

C'est dans ces nuages de poussière et de gaz que naissent les étoiles. Par conséquence, ce phénomène est caché et donc très difficile à observer. On peut voir où le processus démarre – dans les nuages opaques – et comment il prend fin – par l'apparition d'une étoile –, mais ce qui se passe entre les deux reste obscur. Le peu de rayonnement qui filtre se situe dans le domaine de l'infrarouge lointain et des ondes submillimétriques, où les capacités d'observation sont assez rudimentaires par rapport à d'autres plages du spectre électromagnétique.

La formation des nuages de poussière et de gaz est une étape du cycle du milieu interstellaire : les nuages engendrent des étoiles, qui recyclent les éléments en leur sein, avant de les relâcher dans le milieu interstellaire à leur mort, et ainsi de suite. Le milieu interstellaire est constitué aux

trois quarts d'hydrogène et d'un quart d'hélium ; tous les autres éléments représentent à peine quelques pour cent. Une partie de ce matériau est de la matière primordiale à peine altérée depuis le Big Bang, une part est rejetée par les étoiles au cours de leur vie, et une autre est formée de débris d'explosions stellaires.

Au départ, le gaz se trouve sous forme d'atomes, car le rayonnement énergétique des étoiles casse les molécules. Il est diffus, avec environ un atome d'hydrogène par centimètre cube. En se refroidissant, le gaz se condense néanmoins en nuages, comme la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Ce faisant, il libère de l'énergie. Le milieu étant très peu dense, cette énergie ne peut être évacuée par collisions. Le moyen le plus efficace est l'excitation et la réémission dans l'infrarouge lointain de certains éléments, tel le carbone ionisé qui émet à la longueur d'onde de 158 micromètres. La basse atmosphère terrestre est opaque à ces longueurs d'onde, si bien qu'elles doivent être étudiées depuis l'espace (par exemple par l'observatoire spatial *Herschel*, lancé en 2009 par l'Agence spatiale européenne) ou la haute atmosphère, par des télescopes embarqués sur des avions (mission SOFIA).

À mesure que les nuages se refroidissent, ils deviennent plus denses. Quand ils

### L'AUTEUR

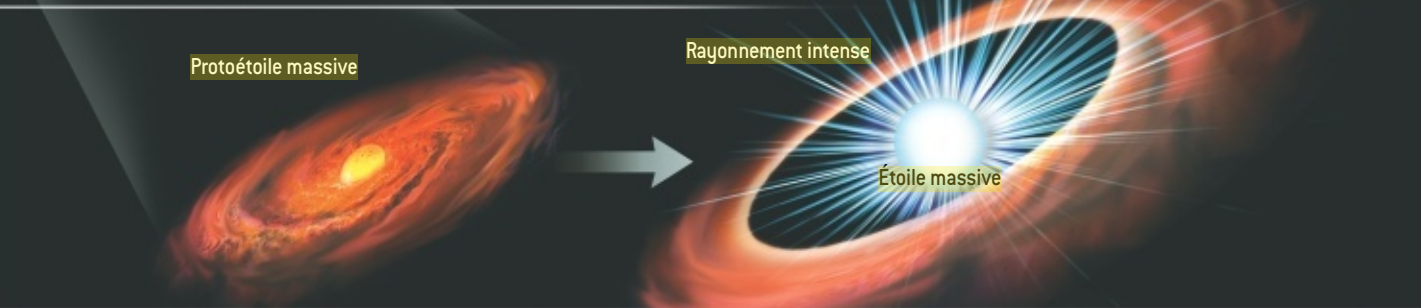


Erick YOUNG, astronome à l'Université d'Arizona jusqu'en 2009, dirige la mission SOFIA (*Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy*).

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 enrobées 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