

dans la galaxie et leurs déformations. Nos simulations numériques mettent en évidence leur évolution (voir la figure 3). On peut ainsi voir le gaz se condenser pour former un nuage qui, après une certaine durée, se dissout. Nos calculs montrent que la durée de vie des nuages n'est que de quelques millions d'années, en accord avec les observations récentes.

Les nuages sont détruits par les effets combinés du cisaillement (dû à la rotation différentielle) et de la rétroaction stellaire. Quelques-uns des nuages moléculaires géants, en particulier les plus massifs, ont des durées de vie plus longues.

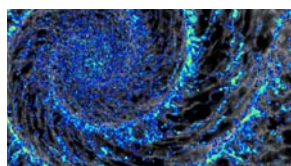
L'équilibre des forces qui assure la stabilité d'un nuage peut être étudié par une autre approche. Un énoncé général, le « théorème du viriel », suppose qu'un système est à l'équilibre si son énergie cinétique moyenne et son énergie potentielle sont égales. Dans le cas d'un nuage de gaz, l'énergie cinétique est déterminée par les vitesses des molécules du gaz, tandis que l'énergie potentielle est liée à l'auto-gravité du nuage. Si l'énergie potentielle domine,

■ L'AUTEUR

Clare DOBBS effectue ses recherches au Département d'astrophysique de l'Université d'Exeter, en Grande-Bretagne.

Article publié avec l'aimable autorisation de *American Scientist*.

■ EN VIDÉO



Les simulations animées de l'auteur : <http://empslocal.ex.ac.uk/people/staff/cld214/movies.html>

le nuage est en effondrement, si l'énergie cinétique domine, le nuage s'étiole. Nos simulations montrent que l'on est plutôt dans ce dernier cas. Ainsi, seules des régions locales dans les nuages vont s'effondrer et former des étoiles, mais les nuages dans leur ensemble ne s'effondrent pas.

L'état non lié, gravitationnellement, de la plupart des nuages contribue à expliquer le faible taux de formation stellaire dans les galaxies. En outre, si les grands nuages ne sont pas liés, ils peuvent facilement se dilater après avoir quitté les bras et former les éperons observés entre les bras de nombreuses galaxies. Les nuages liés par autogravité, en revanche, ont tendance à conserver des formes presque sphériques. La rétroaction stellaire explique en partie pourquoi les nuages ne sont pas liés. Elle est source de mouvements dans le milieu interstellaire, « soufflant » les nuages et augmentant leur dispersion. Certains nuages moléculaires géants de notre simulation sont liés, mais leurs courtes durées de vie suggèrent qu'ils s'effondrent rapidement, forment des étoiles et disparaissent. En l'absence de rétroaction,

Palais DÉCOUVERTE

les conférences

Entrée libre dans la limite des places disponibles

au Palais de la découverte

théma Cap sur l'invisible

Faut-il tuer le temps ?

> mardi 7 octobre à 19h

Débat exceptionnel sur la nature du temps, entre les fondateurs de la théorie de la gravitation quantique à boucles, Lee Smolin (Institut Perimeter, Canada) et Carlo Rovelli (Université de la Méditerranée, Marseille), animé par l'historien des sciences Michel Blay.

La structure des comètes, des hypothèses aux évidences

> samedi 25 octobre à 15h

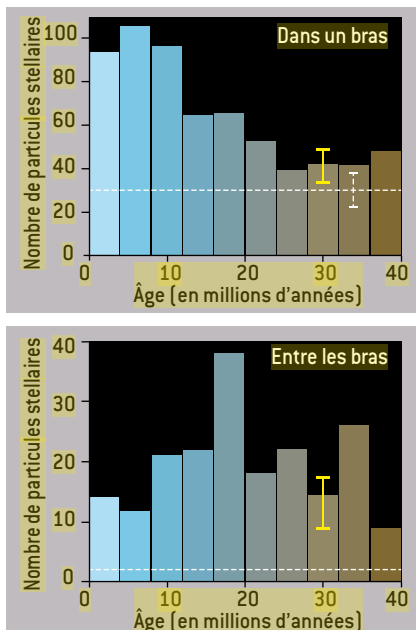
Conférence de l'astrophysicienne Anny-Chantal Levasseur, à l'occasion de la mission Rosetta (Agence spatiale européenne), en route vers la comète Churyumov-Gerasimenko.

En partenariat avec

Avec le soutien de

SCIENCE

programme complet sur palais-decouverte.fr



4. LA DISTRIBUTION DE L'ÂGE DES ÉTOILES d'un nuage diffère selon la position de celui-ci dans la galaxie. Les étoiles sont relativement plus jeunes dans un bras (*en haut*) qu'entre les bras (*en bas*), les nuages s'étant d'abord formés dans un bras avant de migrer.

les nuages sont pour la plupart liés, mais ils forment beaucoup trop d'étoiles.

Jusqu'à présent nous n'avons présenté que les résultats obtenus à l'échelle de la galaxie. Nous avons modélisé la formation et l'évolution des nuages moléculaires géants, mais, à de telles échelles, nous ne sommes pas en mesure de considérer les étoiles individuelles, ni même les amas de plusieurs étoiles. Nous ne pouvons pas obtenir mieux qu'une résolution de l'ordre de 100 masses solaires d'étoiles se formant à un moment donné. La rétroaction stellaire évoquée jusqu'à présent n'était incluse que de façon implicite dans la simulation.

Une façon d'explorer explicitement la formation stellaire consiste à zoomer sur une région de la galaxie. Dans cette approche, nous sélectionnons une zone, qui est simulée de nouveau en la repeuplant avec davantage de particules plus petites, de façon à augmenter la résolution (*voir l'encadré page 52*).

Par cette méthode, il est possible d'atteindre une valeur de 0,156 masse solaire par particule simulée. Un tel niveau de détail n'est pas encore tout à fait suffisant pour suivre la formation d'étoiles individuelles de type solaire, dont la masse correspond à moins de dix particules. Il est néanmoins possible de décrire une étoile d'au moins 11 masses solaires. Pour suivre la formation stellaire, nous insérons en général des



Clare Dobbs / PAWS team/IRAM/NASA HST / A. Rector (Université de l'Alaska)

« particules puits », qui remplacent 50 à 100 particules ordinaires, afin de représenter les endroits où des étoiles se sont formées. Ces insertions représentent soit des étoiles massives, soit de petits groupes d'étoiles.

Ces simulations à haute résolution aident à comprendre ce qui détermine la relation entre le taux de formation stellaire et la densité de gaz dans les nuages de la galaxie (ce qui correspond à la relation empirique dite de Schmidt-Kennicutt). Nous avons montré que les chocs entre nuages, liés aux plus grandes échelles galactiques, influent sur la quantité de nuages denses de gaz froid et que le nombre de ces nuages est lié à la production d'étoiles.

La rétroaction stellaire est indispensable pour obtenir des résultats corrects à cette échelle aussi. Si on ne la prend pas en compte, nous trouvons des taux de formation stellaire trop élevés par rapport aux taux observés et donnés par la relation de Schmidt-Kennicutt.

De la même façon que nous avons mesuré la durée de vie des nuages de gaz, nous pouvons estimer l'âge des étoiles dans un nuage moléculaire géant. La distribution de cet âge est liée à l'évolution du nuage. Par exemple, Lee Hartmann, de l'Université du Michigan, et ses collègues ont montré qu'une prédominance d'étoiles jeunes est un indicateur de la formation récente du nuage moléculaire.

Mais leurs calculs ne prenaient en compte que de petits nuages d'environ dix masses solaires. Notre simulation globale a permis d'examiner la distribution des âges des étoiles (en l'occurrence de particules stellaires représentant chacune environ 160 masses solaires de formation stellaire dans ces simulations) sur des nuages plus grands, et cela dans les bras, entre les bras et dans les régions périphériques de la galaxie.

Notre analyse statistique montre que la distribution des âges est différente dans les bras spiraux et entre eux (*voir la figure 4*). En effet, les nuages et les étoiles se forment dans les bras. Ces régions présentent une majorité d'étoiles jeunes. Comme l'onde de densité et les nuages ne se déplacent pas à la même vitesse, les nuages se retrouvent entre les bras après une période de migration. Les étoiles y sont donc plus anciennes, avec un âge moyen de 20 millions d'années.

La compréhension physique de la formation stellaire par les astronomes a

Une façon d'explorer explicitement la formation stellaire consiste à effectuer une opération de zoom et se concentrer sur une région de la galaxie.