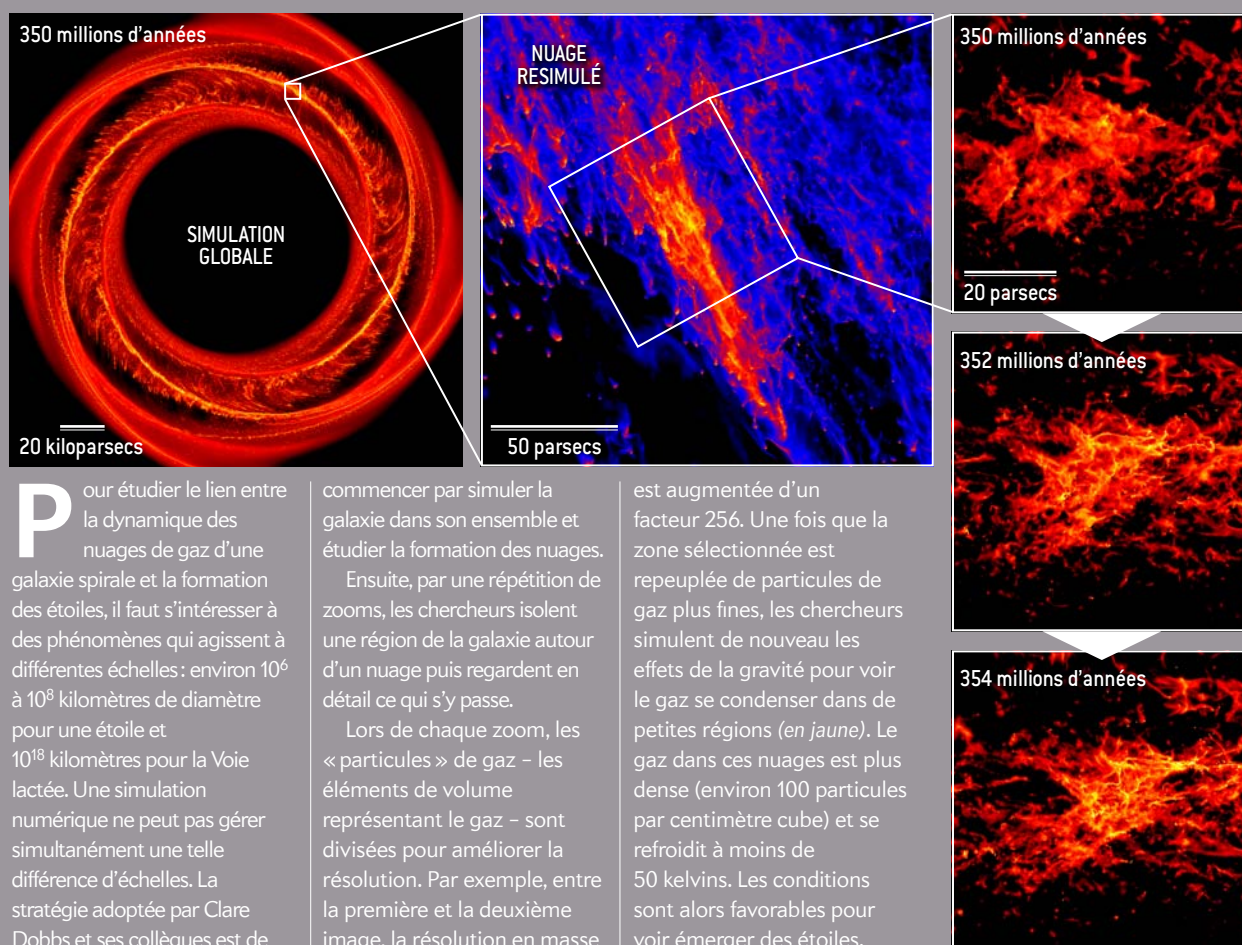


ÉTUDIER UNE GALAXIE À DIFFÉRENTES ÉCHELLES



Clare Dobbs

une petite fraction du nombre d'étoiles qui se formeraient si les nuages moléculaires géants se transformaient en étoiles avec un rendement parfait. Quel est le processus qui empêche le gaz des galaxies spirales de s'effondrer pour donner des étoiles ? La rétroaction stellaire.

À l'exception des supernovæ, les processus de vent stellaire, d'ionisation et de pression de radiation ont lieu pendant toute la vie d'une étoile massive. Ils modulent la formation stellaire en injectant dans le milieu interstellaire de l'énergie, et dans certains cas de la matière, qui s'oppose à la gravité, au refroidissement et à l'effondrement des nuages. L'énergie injectée est proportionnelle au nombre d'étoiles dont on prédit la formation à partir des nuages de gaz moléculaire qui atteignent une certaine densité.

Si l'on effectue les simulations en doublant la fréquence de formation d'étoiles, la quantité d'énergie ajoutée au milieu inters-

tellaire est aussi doublée, ce qui s'oppose à la formation des nuages. Ainsi, la compétition entre l'effondrement gravitationnel des nuages, qui forme des étoiles, et la rétroaction des étoiles, qui dissipe les nuages, évolue vers un équilibre. Le taux de formation stellaire diffère d'un facteur 100 selon que l'on prend la rétroaction en compte ou pas. Une telle régulation explique pourquoi les galaxies spirales produisent encore des étoiles aujourd'hui.

La vie d'un nuage

Une question qui s'est posée durant nos travaux est la durée de vie de ces nuages moléculaires. Ces milieux sont essentiels pour la formation des étoiles, mais s'agit-il de structures stables à longue durée de vie ? Dans les premiers modèles du milieu interstellaire, on supposait généralement que c'était le cas : les nuages étaient capables de se maintenir des dizaines de millions

d'années. La gravitation assurait la cohésion des nuages moléculaires géants, mais les effets combinés de la turbulence et de la rotation les empêchaient de s'effondrer sur eux-mêmes, d'où leur équilibre.

Avec les progrès des observations, on a montré que les nuages présentent généralement une structure allongée, ce qui n'est pas caractéristique des objets à l'équilibre. De plus, plusieurs études récentes suggèrent que la durée de vie de ces nuages pourrait être courte : les étoiles se formeraient rapidement, puis perturberaient leur nuage de naissance par les processus de rétroaction stellaire.

Ces découvertes constituent un test pour nos simulations. Dans ces dernières, pour déterminer la durée de vie des nuages, il faut d'abord identifier ces structures, c'est-à-dire définir une valeur minimale de la densité locale à partir de laquelle on peut parler de nuage. La difficulté est ensuite de suivre le déplacement de ces nuages

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.

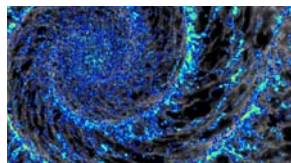
L'équilibre des forces qui assure la stabilité d'un nuage peut être étudié par une autre approche. Un énoncé général, le « théorème du viriel », suppose qu'un système est à l'équilibre si son énergie cinétique moyenne et son énergie potentielle sont égales. Dans le cas d'un nuage de gaz, l'énergie cinétique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

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

programme complet sur palais-decouverte.fr