

peut décrire des phénomènes couvrant de nombreux ordres de grandeur.

Une galaxie est constituée majoritairement de matière noire (substance invisible, de nature inconnue, qui ne se manifeste que par ses effets gravitationnels) et d'étoiles. Pour économiser les calculs, leur influence dans la galaxie est implicitement incluse dans les modèles en utilisant un potentiel gravitationnel simple. Seule la dynamique du gaz est modélisée dans notre simulation.

La composition du gaz n'est pas uniforme. Les étoiles ne naissent que dans des nuages où le gaz est relativement froid (environ 10 kelvins) et dense (de l'ordre de 100 particules par centimètre cube). Parmi ces nuages, les plus massifs sont les nuages moléculaires géants, qui contiennent des molécules (principalement de dihydrogène, ou H_2). D'autres parties du milieu interstellaire sont par exemple constituées de gaz ionisé.

La gravité est la principale force en jeu dans la dynamique du gaz, mais il faut prendre en compte d'autres processus pour obtenir une galaxie très structurée, où le gaz s'organise en nuages moléculaires denses qui correspondent étroitement aux nuages géants réels.

Au sein d'un nuage, le gaz peut subir de nombreuses contraintes. L'existence d'une pression autorise la propagation d'ondes de choc. Lors des collisions entre différentes régions de gaz, ou entre petits nuages, les molécules perdent de l'énergie et de la vitesse, et le gaz émet un rayonnement. De ce fait, la température du gaz diminue à quelques dizaines de kelvins et conduit à la formation de nuages moléculaires géants. Par ailleurs, les instabilités gravitationnelles augmentent localement

la densité dans un nuage; il s'ensuit des collisions plus fréquentes et un refroidissement plus efficace.

Nous avons effectué des simulations démontrant que les instabilités gravitationnelles influent sur la structure du gaz pour les nuages les plus denses, alors que les processus de collision entre nuages dominent pour des densités plus faibles. Dans la simulation, l'essentiel de la structure est le résultat de collisions entre nuages, mais les nuages les plus gros (représentés en jaune) sont formés par autogravitation.

La rétroaction stellaire a une action inverse de celle de la gravité sur la répar-

grande densité en gaz. Ces résultats confirment que les bras spiraux sont des milieux plus favorables à la formation des étoiles.

Nos simulations permettent de visualiser la formation des éperons. L'onde de densité qui forme les bras se déplace plus lentement que les étoiles ou les nuages denses qui se sont formés. Mais du fait de la rotation différentielle – la matière plus proche du centre galactique tourne plus vite que celle plus éloignée –, les nuages de gaz sont cisailés et étirés, ce qui crée les éperons entre les bras.

Nos simulations semblent reproduire plutôt fidèlement la dynamique des nuages de gaz. Nous avons commencé à les exploiter pour étudier le lien avec la formation des étoiles.

Les observations indiquent que la plupart des étoiles se sont formées lorsque la galaxie s'est constituée, ou peu de temps après.

Cela est vrai pour les galaxies elliptiques et spirales. Ainsi, la plupart des étoiles de la Voie lactée datent de sa naissance il y a environ 12 milliards d'années. Le rythme de formation stellaire était alors plus élevé qu'aujourd'hui. Ce qui est surprenant, c'est que la Voie lactée et d'autres galaxies spirales forment encore des étoiles. D'après les dernières estimations, l'équivalent d'une étoile telle que le Soleil se forme chaque année dans la Galaxie. Mais ce chiffre est

LES ÉTOILES FORMÉES

ont une action inverse de celle de la gravité sur la répartition du gaz : leur vent de particules et leur rayonnement dispersent ce gaz.

tion du gaz dans la galaxie simulée : le vent, le rayonnement ionisant des étoiles jeunes, la pression de radiation (la pression exercée par les photons des étoiles sur la matière environnante) et les explosions de supernovæ dispersent le gaz et le réchauffent.

Grâce à la prise en compte de ces effets, la galaxie simulée présente de nombreux points communs avec la galaxie M51 (voir la figure 1). Dans les deux galaxies, les nuages moléculaires et la formation stellaire sont concentrés dans les bras spiraux. On observe aussi des structures fines entre les bras, nommées éperons. Nous avons montré que les collisions de nuages sont peu fréquentes dans les régions entre les bras – ou dans les galaxies sans bras spiraux. Les instabilités gravitationnelles sont aussi renforcées dans les bras spiraux en raison de leur plus

3. CETTE FRISE montre l'évolution d'un nuage de gaz dans la simulation. Les dates sont données par rapport au début de la simulation. Le gaz se condense et forme un nuage (en rouge). Ce dernier se déplace et se déforme à cause des forces de cisaillement. Les étoiles qui naissent dans le nuage émettent un vent de particules et un rayonnement qui dispersent le nuage.

