UNIVERSITÉ PARIS-SUD

ÉCOLE DOCTORALE 127:
ASTRONOMIE ET ASTROPHYSIQUE D'ÎLE DE FRANCE

Laboratoire: SAp, CEA Saclay

Discipline : Science de l'univers

Thèse de doctorat
SYNTHÈSE EN FRANÇAIS

par

Katarina Kraljic

Liens entre l'évolution des galaxies, morphologie et processus physiques internes

Date de soutenance : 23/10/2014

Composition du jury :

Directeur de thèse :	Frédéric Bournaud	Dr. (CEA Saclay)
Président du jury :	François Boulanger	Dr. (Institut d'Astrophysique Spatiale)
Rapporteurs :	Avishai Dekel	Prof. Dr. (The Hebrew University of Jerusalem, Racah Institute of Physics)
	Andreas Burkert	Prof. Dr. (Faculty of Physics of the University of Munich)
Examinateurs :	Stéphane Arnouts	Dr. (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille)
	Jérémy Blaizot	Dr. (Observatoire de Lyon)

Synthèse

Cette thèse s'intéresse aux liens entre l'évolution des galaxies, leur morphologie et les processus physiques internes, notamment la formation stellaire comme le résultat du milieu interstellaire turbulent et multiphase, en utilisant les simulations cosmologiques zoom-in, les simulations des galaxies isolées et en interaction, et le modèle analytique de la formation stellaire.

Une première partie de mon travail été dédié à l'étude de l'évolution de la morphologie des galaxies dans la série de simulations cosmologiques de type zoom-in à travers l'analyse d'une instabilité particulière des disques, les barres. L'échantillon de simulations se focalise sur les galaxies comme la Voie Lactée, en ce qui concerne leur masse, dans les environnements de basse densité, avec une vaste variété d'histoires de leur croissance en masse. En analysant l'évolution de la fraction des barres avec le temps, sa dépendance en masse stellaire et l'histoire d'accrétion des galaxies, on trouve que la fraction des barres décroit avec le redshift croissant, avec des barres observables qui sont rares et faibles jusqu'à $z \sim 1$ et presque absentes dans les progéniteurs des spirales d'aujourd'hui à $z > 1.5$, en accord avec l'évolution de la fraction des barres observées. L'époque caractéristique de la formation des barres, dans les galaxies avec les masses étudiées, de $z \sim 0.8 - 1$ correspond à l'époque à laquelle les galaxies spirales d'aujourd'hui acquièrent leur morphologie dominée par le disque. Je montre que les résultats obtenus suggèrent que l'époque de la formation des barres correspond à la transition entre une phase précoce "violente" de la formation des galaxies spirales à $z > 1$, pendant laquelle elles sont souvent perturbées par les fusions avec les galaxies de masse comparable ou par multiples fusions avec les galaxies de petite masse, mais aussi les instabilités violentes de disque, et une phase "séculaire" tardive à $z < 1$, quand la morphologie finale est généralement stabilisée vers une structure dominée par le disque.

Les simulations utilisées dans cette étude reproduisent correctement les morphologies en accord avec les propriétés observées des galaxies avec les masses stellaires d'aujourd'hui de celles de la Voie Lactée, dans le champ et dans les groupes. A redshift zéro, les galaxies simulées montrent une large gamme de types morphologiques, depuis les galaxies dominées par le bulbe jusqu' au disques avec presque aucun bulbe, dont la majorité d'entre elles qui contiennent un pseudo-bulbe et 70% d'entre elles étant barrées, pendant que à $z = 2$, elles sont très perturbées, avec les disques, si présents, souvent épais et parfois instables et fragmentés. En plus, les tailles de galaxies simulées sont en raisonnable accord avec les relations d'échelle observées entre la masse stellaire et le rayon. Cependant, comme beaucoup de simulations cosmologiques, elles convertissent trop de baryons en étoiles (l'efficacité de la formation des galaxies est en moyenne trois fois plus haute que celle observée) pour être un modèle viable pour les populations de galaxies.

Pour mieux comprendre le processus de la formation stellaire, j'ai effectué une série de simulations de galaxies à bas redshift à résolution d'un parsec en isolation, et j'ai étudié l'origine physique de leur relation de la formation stellaire et de la coupure. L'échantillon analysé inclut les simulations représentatives du Grand et du Petit Nuage de Magellan, aux quels la simulation de la Voie Lactée (Renaud et al., 2013) a été rajoutée, qui reproduisent les relations de la formation stellaire observées et les variations relatives de seuil de la formation stellaire. En particulier, le rôle de la turbulence interstellaire, le refroidissement du gaz, et la géométrie donnant lieu à ces relations à l'échelle de 100 pc sont étudiés. Je montre que le seuil de la densité surfacique pour une formation stellaire efficace peut être relié avec la densité typique pour l'apparition de la turbulence supersonique. Une

fois moyennées sur toute la galaxie, les relations de la formation stellaire semblent montrer l'évidence d'une bimodalité selon laquelle les galaxies normales à disque convertissent leur gaz en étoiles avec un temps de déplétion jusqu'à dix fois plus long par rapport aux galaxies en fusion dans la phase de la flambée de formation d'étoiles. Je montre l'évolution d'un modèle des galaxies en fusion qui ressemble aux galaxies des Antennes (Renaud et al., 2014), mais qui sont un cas représentatif de différentes fusions, dans le diagramme de Schmidt-Kennicutt, de la séquence des disques dans la phase avant la fusion jusqu'à la séquence de la flambée de formation d'étoiles atteinte pendant l'interaction. Je présente également l'analyse résolue de ce système des galaxies en fusion à l'échelle de 100 pc dans le diagramme de Schmidt-Kennicutt révélant un rôle qualitativement similaire de la turbulence interstellaire identifié dans les modèles des galaxies isolées. Je présente également le modèle analytique idéalisé de la formation stellaire (Renaud, Kraljic & Bournaud, 2012), liant la densité surfacique du gaz avec le taux de formation stellaire en fonction de la présence de la turbulence supersonique et la structure du milieu interstellaire associé. Ce modèle prédit la coupure à basse densité surfacique du gaz qui est suivi par le régime de la loi de puissance à haute densité qui peut être aplatie sous les effets du feedback stellaire. La puissance de ce modèle est dans sa capacité à expliquer la diversité observée de relations de formation d'étoiles dans les différents systèmes: spirales proches, Petit Nuage de Magellan, disques à haute redshift, les galaxies en fusion à bas et haut redshift et les nuages moléculaires géants.

Finalement, je me suis intéressée au couplage des deux techniques utilisée pendant mon travail. La technique alternative de zoom-in (Martig et al., 2009) utilisée pour produire l'échantillon des galaxies analysées dans l'étude morphologique a l'avantage de modéliser correctement les propriétés du milieu interstellaire où les étoiles se forment malgré la résolution relativement basse d'approximativement 100 pc (typiquement obtenu dans ce type de simulations). Cependant, elle n'est pas capable de traiter le gaz autour, et peut-être même à l'intérieur des galaxies correctement - elle néglige la pression thermique, particulièrement dans les halos chauds qui peuvent jouer un rôle crucial dans la modélisation des systèmes de grande masse. Ceci peut être remédié par le couplage de cette méthode de resimulations avec un code hydrodynamique à grille adaptative qui est connue pour modéliser la dynamique des fluides mieux que les codes basés sur les particules. Je présente les caractéristiques élémentaires de la méthode de resimulation et son implémentation dans le code à raffinement adaptatif de maille RAMSES (Teyssier 2002) comme une tentative de coupler les petites échelles cruciales pour la formation d'étoiles avec les grandes échelles sur lesquelles l'évolution des galaxies est dictée par la cosmologie.