

Soutenance d'Habilitation à Diriger des Recherches



Comprendre la formation des galaxies et de leurs étoiles à l'aide des simulations numériques Frédéric Bournaud

29 Juin 2009

10h00

Les morphologies variées des galaxies ont une origine encore mal comprise: la “Séquence de Hubble” s’étend des galaxies spirales à disques, qui forment des étoiles activement, aux galaxies elliptiques, sphéroïdales, qui ne forment plus d’étoiles.

Les simulations numériques sont un outil puissant pour étudier la formation et l’évolution des galaxies. Je présenterai une revue critique des différentes techniques existantes pour modéliser la dynamique gravitationnelle des galaxies et l’hydrodynamique de leur milieu interstellaire, et discuterai leur évolution avec les progrès rapides des supercalculateurs. En particulier, certains codes hydrodynamiques peuvent enfin atteindre des résolutions spatiales suffisantes pour modéliser correctement, dans une galaxie entière, la turbulence supersonique omniprésente dans le milieu interstellaire.

Décrire correctement la formation stellaire reste toutefois un enjeu important.

Je présenterai ensuite des résultats récents de simulations et d’observations sur la formation des galaxies. Les galaxies spirales ne sont pas nées avec leur forme actuelle, elles étaient beaucoup plus irrégulières dans l’Univers jeune. Nos observations suggèrent que les collisions violentes et fusions de galaxies ne sont pas le processus dominant leur formation. L’accrétion régulière de gaz diffus a plutôt donné naissance à des disques très riches en gaz, qui sont devenus très turbulents et instables, et se sont fragmentés en régions géantes de formation stellaire très active. Nous pouvons montrer à l’aide de simulations que les bulbes et disques réguliers des galaxies spirales actuelles comme la Voie Lactée sont issus principalement de ce processus d’évolution interne. À l’opposé, les galaxies qui n’ont pas échappé aux collisions et fusions sont devenues les galaxies elliptiques. Une collision de galaxies déclenche dans un premier temps une flambée de formation d’étoiles et d’amas stellaires massifs. Mais ensuite, le système prend la forme d’une galaxie sphéroïdale dont la formation stellaire se termine spontanément, expliquant l’apparition des elliptiques “rouges et mortes”.

La diversité des galaxies actuelles semble donc résulter de processus d’évolution variés, liés à la fois à leur environnement cosmologique et aux mécanismes de formation stellaire dans les disques. Les débats sont toutefois loin d’être clos: je présenterai les principales questions ouvertes et perspectives d’études, aussi bien en termes d’observations que de simulations numériques.

**Cette soutenance aura lieu au CEA Saclay – Orme des Merisiers
Amphithéâtre Claude Bloch bâtiment 774**

Soutenance d'Habilitation à Diriger des Recherches



Galaxies along the Hubble Sequence:
Understanding mass assembly and star formation with numerical
simulations

Frédéric Bournaud

29 Juin 2009

10h00

The diversity of galaxy morphologies in the local Universe is still poorly understood: the “Hubble Sequence” for massive galaxies ranges from star forming disk-dominated spirals to non-star forming, spheroid-dominated elliptical galaxies.

Numerical simulations are a powerful tool to study the formation and evolution of galaxies, but all codes have physical and numerical limitations. I will present a critical review of the strengths and limitations of various codes used to model the gravitational dynamics of galaxies and the hydrodynamics of their interstellar medium, and discuss how these aspects change with the rapid evolution of modern supercomputers. In particular, some hydrodynamic codes can now reach high enough spatial resolution and resolve the gas cooling down to relatively low temperatures, so that supersonic turbulence in the interstellar gas can be correctly modeled. Describing the formation of stars on galactic scales is nevertheless still challenging.

I will then review recent results on galaxy formation obtained from numerical simulations and observations. Spiral galaxies were not born with their modern shape, but were much more irregular in the young Universe. Observations suggest galaxy collisions and mergers are not the dominant process in their formation. Instead, smooth gas flows assembled massive gas-rich disks, inside which a strong turbulence developed. These primordial disks then fragmented into giant clumps, formed stars actively, and built the bulges and exponential disks of today’s spiral galaxies. Star formation and morphological evolution in Milky Way-like galaxies is thus mostly driven by internal processes. At the opposite, galaxies that did not escape violent interactions and mergers became today’s ellipticals.

Interactions first trigger star formation and massive star cluster formation, but later form spheroidal galaxies in which efficient star formation is naturally quenched, explaining the so-called “red and dead” ellipticals.

The diversity of galaxy properties thus seems to result from different formation and evolution mechanisms, but a number of observed properties remain unexplained: I will review the main open questions in the field, and perspectives for observations and numerical simulations.

**Cette soutenance aura lieu au CEA Saclay – Orme des Merisiers
Amphithéâtre Claude Bloch bâtiment 774**