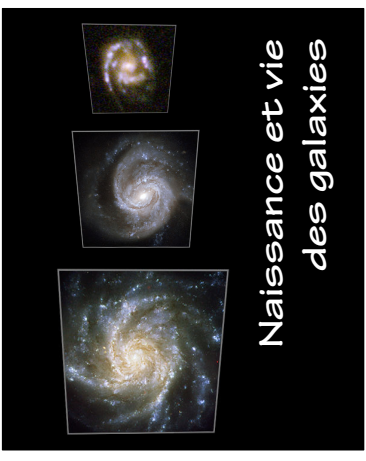




Marina Trevisan
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brésil



Naissance et vie des galaxies

L'Univers dans ma poche

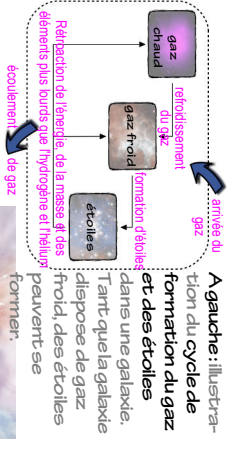
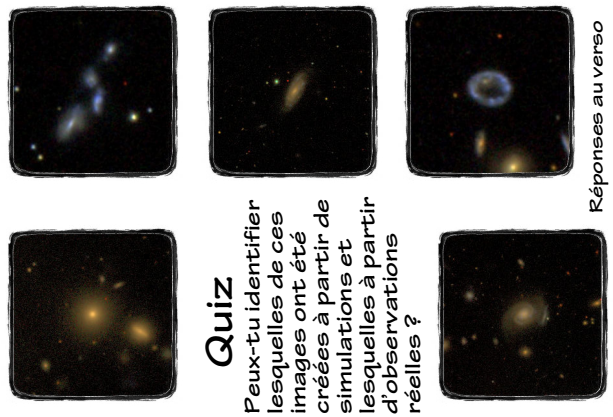


Figure de droite: les galaxies peuvent obtenir du gaz de leur environnement. Cependant, des mécanismes de rétroaction peuvent chauffer le gaz autour de la galaxie, empêchant l'afflux de gaz, ou même éjecter du gaz interne. La figure ci-dessous montre ces mécanismes en action. **À gauche:** explosion de supernova provoquant des éjections de gaz



Réponses au verso



Quiz
Peux-tu identifier lesquelles de ces images ont été créées à partir de simulations et lesquelles à partir d'observations réelles ?

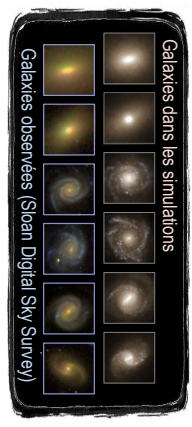
Transformer le gaz en étoiles

Tant que la galaxie contient du gaz et que celui-ci peut se refroidir, des étoiles peuvent se former. Cependant, les explosions de supernovae libèrent de l'énergie qui peut chauffer et éjecter le gaz d'une galaxie. Si la galaxie est petite, la gravité est trop faible pour empêcher le gaz de s'échapper, et ce processus de **rétroaction par les supernovae** supprime la formation d'étoiles. Dans les galaxies plus massives, la **rétroaction due aux noyaux actifs de galaxies** (NAAG) a un impact important sur le cycle de formation des étoiles. Dans un NAAG le trou noir central (des millions ou des milliards de fois plus massif que le Soleil) engouffre de la matière et libère une énorme quantité d'énergie qui réchauffe le gaz environnant. Les études montrent que les propriétés des galaxies dépendent de la masse de leur trou noir central, indiquant que la rétroaction due à ces monstres joue un rôle fondamental dans l'évolution des galaxies. **9** * Voir TUIMP 6

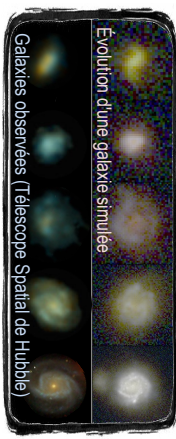
Créer des galaxies

13
des centaines, voire des milliers d'années pour les mener à bien!

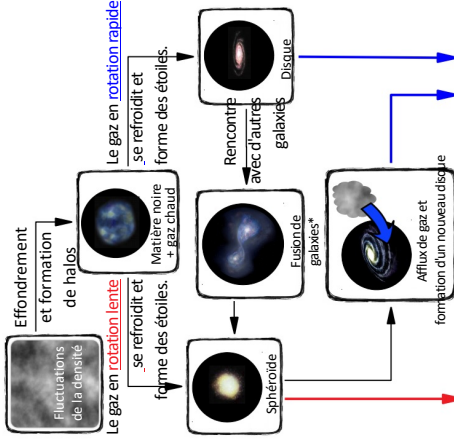
Les **simulations cosmologiques** réalisées sur des superordinateurs nous ont aidé à comprendre comment les galaxies se sont formées et ont évolué. Les images de la page ci-contre montrent le résultat d'une des plus grandes simulations jamais réalisées à ce jour. Ces simulations décrivent plus de 13 milliards d'années d'évolution cosmique d'un volume contenant des dizaines de milliers de galaxies. Elles incluent le gaz, les étoiles, la matière noire, l'énergie noire et des processus physiques tels que l'évolution stellaire, l'enrichissement chimique et les mécanismes de rétroaction. Malgré leur immense complexité, on peut constater que les simulations reproduisent vraiment bien les propriétés des galaxies réelles ! Ces simulations sont tellement complexes que, si on pouvait les exécuter sur un ordinateur ordinaire, il faudrait des centaines, voire des milliers d'années pour les mener à bien!



Comparaison entre des observations de galaxies réelles et des images de galaxies simulées avec les superordinateurs du projet Illustris-TNG. Ci-dessous : différents types morphologiques. Ci-dessous : évolution d'une galaxie simulée comparée à des galaxies observées d'âge similaire.



Galaxies observées (Télescope Spatial de Hubble) 12 11 10 9
Evolution d'une galaxie simulée
Il y a des milliards d'années aujourd'hui



*c'est le moyen le plus courant et le plus violent pour détruire les disques de galaxies et les transformer en sphéroïdales.

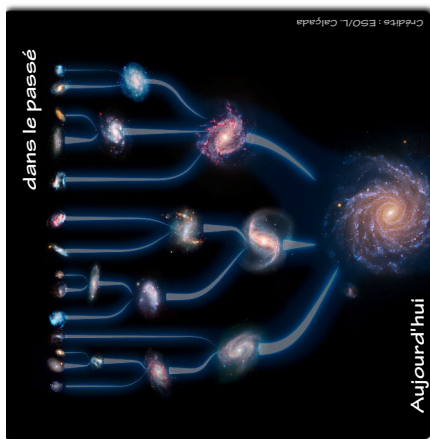
De minuscules fluctuations de densité

Une théorie de la formation et de l'évolution des galaxies doit expliquer quels sont les processus physiques en jeu pour former les différents types de galaxies et quand et comment ils interviennent. Nous savons que la séquence de Hubble* n'est pas une séquence évolutive. Le diagramme de la page ci-contre illustre les voies qui peuvent mener à la formation des galaxies elliptiques et spirales. Tout commence par de minuscules **fluctuations de densité** dans l'Univers très jeune. Au fur et à mesure de l'expansion de l'Univers**, l'amplitude de ces fluctuations augmente. Finalement, la **gravité** l'emporte et les halos de matière noire s'effondrent. Le gaz chaud attiré par ces halos se refroidit, formant des étoiles. La galaxie formée est elliptique ou spirale suivant l'importance de la rotation, la quantité de gaz dans le halo et le fait qu'il y ait eu ou non de fusions avec d'autres galaxies. **5** * Voir TUIMP 3 ** Voir TUIMP 12

En 1924, Edwin Hubble montra que les nébuleuses spirales étaient, en fait, des galaxies similaires à notre Voie lactée*. Une trentaine d'années se sont écoulées avant que n'apparaissent les premiers modèles expliquant la formation de ces objets. Nos connaissances sur ce sujet sont donc très récentes. La théorie actuelle de la formation et de l'évolution des galaxies est construite dans le cadre du modèle cosmologique standard. Dans ce contexte, l'Univers contient trois composants principaux : environ 26 % de matière noire froide, 70 % d'énergie noire et seulement 4 % de matière baryonique (la matière normale que nous connaissons). La proportion entre ces composants détermine la façon dont les structures de l'Univers se forment et évoluent. Cependant, jusqu'à présent, nous ne savons pas ce que sont ces composants sornbres.

* Voir TUMIP 3

Un univers de galaxies



Dans le modèle hiérarchique de formation des galaxies, les petites galaxies se forment d'abord puis fusionnent pour former des galaxies de plus en plus grandes. L'arbre de fusion de la figure ci-dessus illustre ce processus. Les modèles indiquent que plus grosse est la galaxie, plus importante est la fraction d'étoiles obtenues par fusion avec des systèmes plus petite.

Observer le passé

La lumière voyage à la vitesse de 300.000 kilomètres par seconde, ce qui est une valeur élevée, mais finie. En conséquence les observations du ciel profond nous ouvrent une fenêtre sur le passé. Grâce aux télescopes spatiaux, on peut observer des galaxies tellement lointaines qu'on les voit telles qu'elles étaient il y a 13 milliards d'années ! Autrement, elles étaient plus irrégulières, contenaient plus de gaz et formaient des étoiles à un rythme bien plus élevé qu'aujourd'hui. Le télescope spatial de Hubble a produit des images extrêmement nettes des galaxies, nous permettant de découvrir de nombreux aspects de l'évolution des premières galaxies. Le prochain télescope spatial de James Webb sera en mesure d'obtenir des images aussi nettes de galaxies à des distances beaucoup plus grandes, ce qui nous permettra d'observer les toutes premières galaxies !

L'Univers dans ma poche n° 23

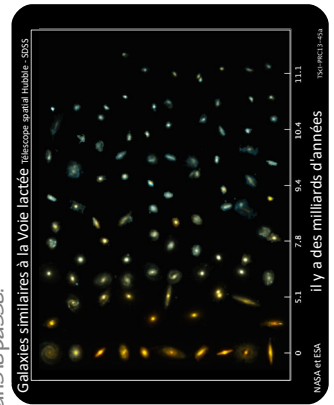
Ce mini-livre a été écrit en 2021 par Marina Trevisan de l'Université Fédérale du Rio Grande do Sul (UFRGS, Brésil) et révisé par Allan Schorn Müller (UFRGS, Brésil) et Gary Mamon (Institut d'Astrophysique de Paris, France).

Image de couverture : une galaxie spirale aujourd'hui, il y a 4 milliards et 111 milliards d'années.
Crédit : NASA, ESA.

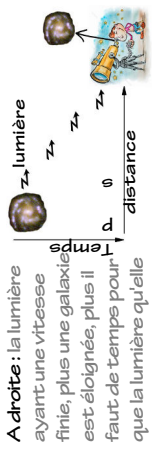


Pour en savoir plus sur cette série et sur les sujets présentés dans ce mini-livre, tu peux consulter le site <http://www.tumip.org>

Traduction: Graxyna Stasińska
TUMIP Creative Commons BY-NC-SA



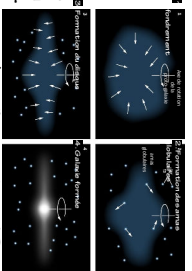
Galaxies similaires à la Voie lactée. Message spatial Hubble - 2005.



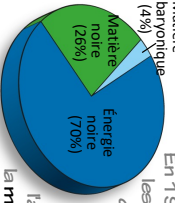
A droite : la lumière ayant une vitesse finie, plus une galaxie est éloignée, plus il faut de temps pour que la lumière qu'elle émet nous parvienne. Ainsi nous la voyons comme elle était quand elle était plus jeune. Ci-dessous : observations de galaxies très lointaines montrant comment elles étaient dans le passé.

Un Univers hiérarchique

Dans le modèle proposé par Olin Eggen, Donald Lynden-Bell et Allan Sandage en 1962, les galaxies se sont formées à partir de l'effondrement d'un nuage de gaz géant il y a environ 10 milliards d'années. Les flèches de la figure indiquent la direction du mouvement du gaz. Aujourd'hui, on sait que le processus de formation des galaxies est beaucoup plus complexe que ce que suggère ce modèle.



En 1933, Fritz Zwicky mesura les vitesses des galaxies dans un amas de grande masse, et la forte dispersion des vitesses l'amena à déduire que la masse de l'amas est dominée par de la matière noire invisible. En 1993, deux équipes de chercheurs découvrirent que l'Univers est en expansion à un rythme accéléré. Comme on ne connaît pas la nature de l'énergie qui provoque cette accélération, on l'a appelée énergie noire.



En 1933, Fritz Zwicky mesura les vitesses des galaxies dans un amas de grande masse, et la forte dispersion des vitesses l'amena à déduire que la masse de l'amas est dominée par de la matière noire invisible. En 1993, deux équipes de chercheurs découvrirent que l'Univers est en expansion à un rythme accéléré. Comme on ne connaît pas la nature de l'énergie qui provoque cette accélération, on l'a appelée énergie noire.