DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **06 octobre 2022**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Madame FARCY Marion**

Titre de la thèse : *« Simulations cosmologiques des rayons cosmiques et de l'époque de réionisation »*

Résumé

Pour comprendre l'état actuel de l'Univers, il nous faut regarder quelques centaines de milliers d'années après le Big Bang, au moment de l'Epoque de Réionisation. Cette époque, qui marque la dernière transition majeure de l'Univers de neutre à ionisé, implique la formation des premières étoiles et galaxies, et le rayonnement de ces galaxies ionisant le milieu inter-galactique. Pour déchiffrer les interactions hautement complexes des processus en jeu dans l'évolution des galaxies, les simulations numériques sont notre meilleur outil. Grâce aux simulations numériques, il est maintenant établi que le feedback - la rétroaction des processus physiques au sein des galaxies et régule leur croissance - est un ingrédient important de l'écosystème galactique. En particulier, le feedback issu des explosions des étoiles les plus massives en supernovae est considéré comme l'un des processus les plus importants régulant la formation stellaire et l'échappement des photons ionisants, mais de nombreux travaux suggèrent qu'il n'est pas suffisant seul. Dans cette thèse, j'explore les effets du feedback des rayons cosmiques, qui sont des particules chargées accélérées à des vitesse relativistes au niveau des fronts d'onde de choc, comme dans les restes des explosions de supernova. En diffusant des milieux denses à diffus le long des lignes de champ magnétique, les rayons cosmiques exercent une pression significative sur le gaz du milieu interstellaire, ce qui pourrait impacter l'échappement des photons ionisants, et donc la réionisation de l'Univers. Afin de déterminer si les rayons cosmiques jouent un rôle pendant et sur la réoinisation de l'Univers, j'ai réalisé et étudié les toutes premières simulations rayonnement-magneto-hydrodynamiques de galaxies combinant le feedback des supernovae, du rayonnement et des rayons cosmiques. J'ai pour cela utilisé le code Ramses, qui permet de réaliser des simulations avec un maillage adaptatif et qui inclut des modèles de formation stellaire et de feedback correspondant à l'état de l'art actuel. La première partie de mon travail se concentre sur des simulations idéalisées de galaxies, qui me permettent d'explorer l'effet de différents processus physiques dans des galaxies de différentes masses. Mes résultats montrent que le feedback des rayons cosmiques contribue davantage à réguler la formation stellaire dans les galaxies les moins massives, et permet de conduire des vents galactiques en plus grande proportion, plus loin et plus froids que ceux éjectés par le feedback des supernovae et du rayonnement. Dans la deuxième partie de ma thèse, je me suis basée sur les simulations cosmologiques Sphinx, qui permettent d'étudier la réionisation de l'Univers en résolvant l'échappement du rayonnement à travers le milieu interstellaire de centaines de galaxies. J'ai réalisé une suite de simulations Sphinx d'un volume de 5 cMpc de large et qui incluent rayons cosmiques et rayonnement-magneto-hydrodynamique, et ai re-simulé pareillement deux halos massifs d'une simulation Sphinx d'un volume 64 fois plus grand. Ces simulations montrent que quand le feedback des rayons cosmiques régule suffisamment la formation stellaire à haut-redshift, il retarde fortement et de manière non réaliste la réionisation du milieu inter-galactique, en supprimant les fractions d'échappement du rayonnement ionisant. De plus, les vents denses portés par la pression des rayons cosmiques dans le milieu circum-galactique absorbent de nouveau le rayonnement ionisant dans les

halos les plus massifs, dont la contribution au budget total de photons ionisants est réduite. Les détails du feedback des rayons cosmiques pourraient donc jouer un rôle important dans l'Epoque de Réionisation. A leur tour, les contraintes observationnelles sur la réionisation combinées aux simulations numériques pourraient donc être utilisées comme contrainte additionnelle sur les modèles de feedback des rayons cosmiques.