

Dominique Aubert

Sujet de thèse 2010

Ce projet de thèse s'articule autour de la simulation du processus de réionisation et à la compréhension des traces observables du phénomène.

Contexte astrophysique : le processus de réionisation

Le processus de réionisation désigne une époque couvrant le premier milliard d'année dans l'histoire de l'Univers au cours de laquelle le gaz d'hydrogène (95% des atomes) passe d'un état majoritairement neutre à un état essentiellement ionisé. Cette transition s'opère sous l'action du rayonnement ultraviolet émis par les premières étoiles et dont l'énergie se situe au-delà du seuil d'ionisation de l'atome. Les effets de cette transition s'observent déjà dans les spectres en absorption des quasars lointains (Fan et al. 2006, Bolton & Haehnelt 2007, Gnedin & Fan 2006, Kohler et al. 2007) qui, au delà d'une certaine distance présentent des «tunnels d'absorptions» dûs à la présence de gaz neutre (Gunn & Peterson 1965). On l'observe également dans la signal du rayonnement fossile, les photons de ce dernier diffusant sur les électrons relâchés au cours du processus (e.g. Komatsu et al. 2008). Dans les années à venir, les grands observatoires radio LOFAR et SKA vont être à même de détecter le signal émis par le gaz neutre et permettront de cartographier «en direct» la réionisation du gaz. (e.g. Baek et al. 2008).

D'un point de vue théorique, une dizaine d'équipes ont mis au point durant les 5 dernières années tout un arsenal de techniques numériques permettant de simuler le processus (cf. Iliev et al. 2006). Cette effervescence s'explique d'une part par l'imminence de l'arrivée de nouvelles données observationnelles provenant des âges sombres et par l'acceptation que la plupart des modèles de formation des galaxies ne peuvent plus faire l'économie d'un traitement complexe de l'impact du rayonnement à ces époques. Plus généralement, l'étude du processus de réionisation en est à ses prémices et un grand nombre de directions de recherches restent à explorer.

Projet de Thèse :

Le projet de thèse vise à étudier le phénomène de réionisation via l'utilisation de simulation numériques. A cette fin le doctorant se basera sur les outils numériques mis en place par D. Aubert (Obs. Strasbourg), B. Semelin (Obs. Paris) et R. Teyssier (CEA/Zurich): *cuDTON*, *RAMSES* et *LICORICE* qui permettent un traitement auto-consistant de l'impact du rayonnement sur la dynamique du gaz et réciproquement. En fonction des préférences de l'étudiant, plusieurs axes de recherches sont possibles mais tous mettront à profit l'existence de ces outils qui ont déjà été utilisés et validés (Aubert & Teyssier 2008, Aubert & Teyssier 2010 in prep.). Cette thèse se déroulerait dans le cadre du projet LIDAU, financé par l'ANR.

L'objectif est la compréhension et l'interprétation des données observationnelles sur le processus de réionisation. Par exemple, il est significatif qu'à l'heure actuelle les quelques contraintes à disposition sur la réionisation présentent déjà de fortes tensions. Pour exemple, les spectres des quasars prédisent une réionisation tardive vers $z \sim 6$ tandis que les anisotropies secondaires du fond diffus inclinent davantage vers une réionisation précoce vers $z \sim 10$. Cette tension est pour l'instant non résolue et peut s'expliquer en particulier par des biais observationnels, par une surinterprétation des données brutes ou bien par le manque de compréhension d'effets physiques comme l'évolution de la nature des sources, de leur spectre ou l'évolution de la fraction d'échappement du rayonnement. D'autre part, les simulations du processus sont incapables à ce jour de concilier le flux ionisant déduit des observations, la fraction d'hydrogène neutre et l'amplitude de la diffusion Thomson détectée dans le fond diffus. Ces difficultés traduisent l'effort restant à faire sur par exemple la modélisation de la formation stellaire à haut redshift ou sur le transfert radiatif à proprement parler.

Le travail de thèse du doctorant portera sur l'étude de ces «tensions», sur leur existence réelle ou supposée et sur ce qu'elles apportent comme information. Les simulations peuvent fournir des clés qui permettront de comprendre ces difficultés en faisant office de paillasse numérique pour tester l'impact des différents effets mentionnés précédemment. De plus elles permettent de générer des observables synthétiques (spectres, cartes à 21 cm) qui permettent de cerner ce qui peut-être déduit ou l'inverse incorrectement interprété à partir de ces données. Ces travaux seront au confluent de techniques numériques et de la compréhension des phénomènes observés: d'une part le doctorant sera amené à explorer l'impact des différents effets sus-mentionnés sur la chronologie et la géométrie de la réionisation, et il aura à transposer ces prédictions numériques en termes d'observations synthétiques. D'autre part, certains ingrédients non présents dans les versions actuelles des codes pourront être ajoutés par le doctorant (transfert multi longueur d'onde, chimie moléculaire, réionisation de l'Hélium) pour augmenter la gamme des effets physiques simulés. La répartition entre les aspects analyses des simulations et développements numériques se feront en fonction des souhaits de l'étudiant.