

> Finalement, comment les astrophysiciens en sont venus à écarter la piste baryonique ?

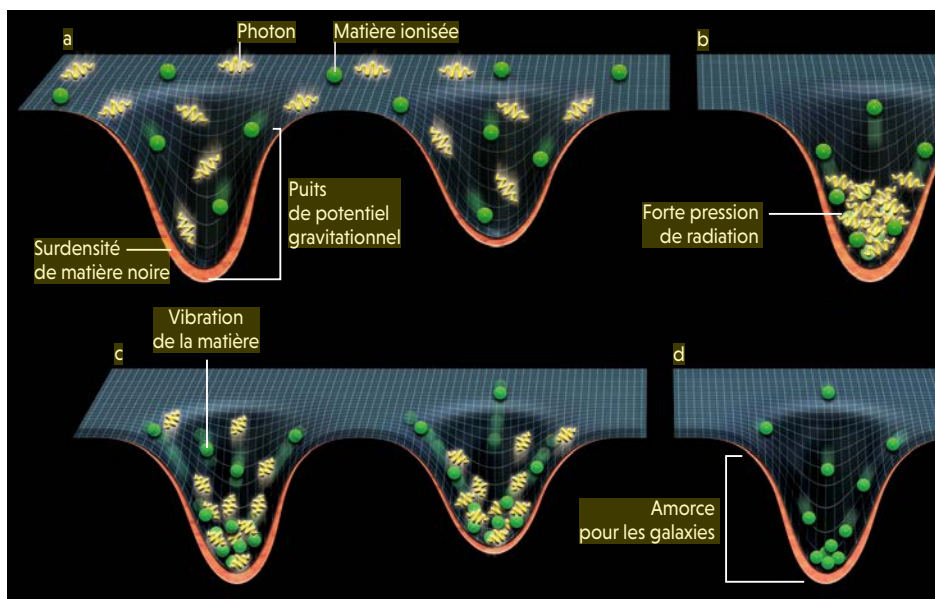
Les observations cosmologiques de ces dernières décennies ont montré que la masse manquante devait prendre la forme d'une matière noire non baryonique. Pour comprendre pourquoi, il faut rappeler l'état de l'Univers quand il était âgé d'environ 380 000 ans. Il était rempli d'un plasma très chaud de noyaux atomiques et d'électrons. Les photons, les particules de lumière, étaient piégés, car ils interagissaient en permanence avec les particules chargées du plasma. Vers 380 000 ans, la température, qui diminuait avec l'expansion de l'Univers, est devenue assez basse pour que les noyaux et les électrons se combinent en atomes neutres. Les photons ont alors pu se propager et constituer un rayonnement encore détectable aujourd'hui, le fond diffus cosmologique.

Ce fond diffus porte beaucoup d'information sur l'Univers primordial. Bien que la température associée à ce rayonnement soit globalement homogène sur l'ensemble du ciel, les satellites WMAP et Planck ont détecté de petites fluctuations thermiques, d'amplitude relative atteignant 10^{-5} . Ces fluctuations de température correspondent à des zones plus ou moins denses dans le plasma primordial. Les zones de surdensité ont attiré de plus en plus de matière au cours du temps et ont donné naissance aux grandes structures, les amas et les galaxies.

Cependant, vu la faiblesse des fluctuations initiales, et si l'on ne prend en compte que la matière baryonique, l'effet d'accumulation n'a pas été assez fort et rapide pour produire les grandes structures observées aujourd'hui. Il faut donc ajouter au plasma primordial un autre ingrédient, une composante qui n'interagit pas avec la matière ordinaire autrement que par ses effets gravitationnels, mais qui contribue à augmenter l'efficacité de formation des grandes structures : la matière noire non baryonique.

Y a-t-il d'autres arguments cosmologiques ?

Un deuxième argument est également lié au fond diffus. Le plasma primordial est le siège d'une compétition entre la matière baryonique, qui tend à s'accumuler dans les zones de surdensité, et les photons, qui s'opposent à ce mouvement par leur pression de radiation (voir la figure ci-dessus). Il s'ensuit des mouvements d'oscillation dans le plasma qui influent sur la taille et les propriétés des fluctuations de température. Une courbe, dite du spectre de puissance, met en évidence de nombreuses caractéristiques du fond diffus. Cette courbe contient notamment de nombreux pics. Or, en ne considérant que de la matière baryonique, il n'est pas possible de reproduire correctement l'amplitude de ces pics. Il faut supposer



qu'une composante supplémentaire dans le plasma primordial aide à engendrer les oscillations par une contribution gravitationnelle, sans interagir avec les baryons. Encore une fois, cela ne peut être que de la matière noire non baryonique.

Avec d'autres observations, celles du fond diffus cosmologique décrivent un scénario de l'histoire de l'Univers cohérent et convaincant, d'après lequel le cosmos se compose alors de 4,9% de matière baryonique, 26,6% de matière noire et 68,6% d'énergie sombre (responsable de l'accélération de l'expansion de l'Univers).

En quoi consiste cette matière noire non baryonique ?

Les travaux en physique des particules ont suggéré de nombreuses possibilités. Depuis son élaboration dans les années 1960, le modèle standard de la physique des particules a été expérimentalement très bien confirmé. Mais divers indices suggèrent qu'il n'est qu'une approximation à basse énergie d'un modèle plus fondamental. Et les modèles d'extension du modèle standard s'accompagnent souvent de candidats à la matière noire. Dans le cadre de la supersymétrie, une piste d'extension particulièrement en vogue, il existerait des particules électriquement neutres n'interagissant que rarement avec la matière ordinaire : les « wimps » (acronyme de *weakly interacting massive particles*). L'argument le plus attrayant en faveur de ces candidats est qu'ils seraient produits dans l'Univers primordial dans des proportions qui correspondent à ce qu'on attend pour la matière noire. C'est le « miracle des wimps » !

A-t-on détecté de tels wimps ?

En théorie, il était possible de les produire dans les accélérateurs de particules tels que le LHC, de les détecter directement dans des

À l'âge d'environ 380 000 ans, l'Univers contenait un plasma de matière ordinaire et de la matière noire qui formaient des zones de surdensité (a). La compétition entre la pression de radiation des photons (b) et l'accumulation de la matière ordinaire dans les zones de surdensité (c) engendrait des vibrations dans le plasma. Après recombinaison des ions et des électrons, les photons se sont échappés, créant le fond diffus cosmologique, tandis que les atomes se sont accumulés et ont peu à peu formé les grandes structures (d).