

l'énigme de l'astrophysique



Vera Rubin en 1963 à l'observatoire de Kitt Peak. © KPNO/NOIRLAB/NSF/AURA

amas qui sillonnent l'espace comme un gigantesque réseau cosmique. Dans cet environnement, la matière lumineuse – tout ce que nous pouvons observer grâce aux télescopes – ne représente que la partie émergée de l'iceberg. Tout ce qui émet ou réfléchit la lumière n'est en réalité qu'une luminescence suspendue à l'échafaudage invisible de la matière noire. « Les galaxies qui éclairent l'obscurité du Cosmos ne sont que de modestes bouées flottant dans un vaste océan cosmique de quelque chose qui ne ressemble à rien », note Neil deGrasse Tyson.

Notre galaxie et le système solaire baignent également dans cet océan invisible de matière noire. Alors que le disque lumineux de la Voie lactée s'étend sur 100.000 années-lumière, son halo de matière noire pourrait atteindre une envergure de 1,5 million d'années-lumière, frôlant ainsi la galaxie d'Andromède et fusionnant presque avec son propre halo sombre.

L'extinction des dinosaures

Si cette matière noire est présente dans la Voie lactée, dans notre système solaire, et qu'elle circule probablement autour de nous et à travers nous, pourquoi nous est-il si difficile de la détecter sur Terre ? Il y a deux raisons à cela.

Tout d'abord, la matière noire est très diluée. Elle est très abondante, car elle occupe un espace immense, bien au-delà des limites visibles des galaxies. Mais contrairement à la matière ordinaire, elle ne s'agglomère pas. Elle ne forme pas de structures compactes, comme les atomes ou les molécules, ni d'amas denses, comme les étoiles ou les planètes. D'où l'apparent paradoxe : la matière noire domine à grande échelle, mais localement – là où la matière ordinaire se concentre en atomes, étoiles et planètes –, il y en a relativement peu, explique Ethan Siegel, astrophysicien américain et spécialiste du Big Bang.

Prenons un ordre de grandeur. La densité du corps humain est comparable à celle de l'eau, soit 1.000 kg/m³. En revanche, la densité estimée de la matière noire aux alentours de la Terre est un quadrillion de fois moindre ! Si l'on additionnait toute la matière noire traversant les corps de l'ensemble de l'humanité, on n'obtiendrait pas plus d'un nanogramme.

Quant à la matière noire remplissant tout le système solaire jusqu'à l'orbite de Neptune, sa masse totale ne dépasserait pas celle d'un petit astéroïde. C'est pourquoi la matière noire ne perturbe pas le mouvement des planètes par sa gravité et reste indétectable dans les laboratoires terrestres.

Toutefois, tout le monde ne s'accorde pas à dire que la matière noire n'a aucune influence sur les événements terrestres et solaires. Lisa Randall, professeur de physique à l'université de Harvard, suggère qu'il y a 65 millions d'années, la matière noire pourrait avoir joué un rôle central dans l'extinction des dinosaures, ouvrant ainsi la voie à l'émergence des mammifères et, finalement, à l'homme.

Randall élabore le scénario suivant : si la matière noire se comporte, même en

sive que ma femme utilisait », expliquait un jour le professeur Wilczek. « Car, voyez-vous, axion est un nom trop élégant pour une poudre à laver, mais pour une nouvelle particule élémentaire, il est parfait. »

La matière noire joue un rôle fondamental dans les modèles cosmologiques modernes. Sans elle, les galaxies – et nous – n'existeraient tout simplement pas. En effet, peu après le Big Bang, la matière ordinaire, principalement constituée d'hydrogène et d'hélium, était trop peu abondante pour résister à l'expansion de l'Univers. Ce n'est que grâce à la matière noire que cette matière a pu s'assembler en structures massives, donnant naissance aux galaxies, aux étoiles, puis aux planètes.

Aujourd'hui, le modèle cosmologique dominant, appelé Lambda-CDM, décrit l'évolution de l'Univers. Le terme Lambda fait référence à l'énergie noire, tandis que CDM désigne la matière noire « froide », composée de particules lentes. Si ces particules étaient trop rapides (c'est-à-dire « chaudes »), elles ne pourraient pas se condenser et former la structure cosmique soutenant les galaxies.

Dans ce modèle, la matière noire représente 26,8 % de la masse de l'Univers, soit environ cinq fois plus que la matière ordinaire, composée des éléments du tableau périodique que nous avons précédemment classés. Nous savons également que les amas de matière noire agissent comme des lentilles gravitationnelles, déviant la lumière qui nous parvient de l'espace. Il est donc établi qu'elle se concentre à peu près aux mêmes endroits que les galaxies lumineuses, bien que les amas de matière noire soient beaucoup plus étendus.

Une carte tridimensionnelle de l'Univers, élaborée par une équipe dirigée par le professeur Yannick Mellier, de l'Observatoire de Paris, montre que la matière noire forme de longs filaments et

facts du halo galactique ».

Cependant, il s'est avéré que ces corps compacts, qui n'émettent pas de lumière et sont difficiles à détecter, sont bien trop rares pour expliquer l'énorme excès de masse observé dans les galaxies et les amas. Les Macho ne sont donc pas la clé de l'énigme. Tout porte à croire que nous avons plutôt affaire à des nuages de particules élémentaires encore inconnues, transparentes à la lumière.

Pour expliquer cette énigme, les hypothèses proposées par les physiciens sont presque aussi nombreuses que les chercheurs eux-mêmes. Toutefois, deux théories majeures se dégagent :

- les Wimps (Weakly Interacting Massive Particles) : ces particules hypothétiques et bien plus lourdes qu'un atome d'hydrogène interagiraient très faiblement avec la matière visible. L'acronyme anglais, qui signifie « particules massives interagissant faiblement », résume parfaitement tout ce que l'on sait d'elles à ce jour ;

- les axions : ces particules, également hypothétiques, sont dépourvues de charge électrique et extrêmement légères, jusqu'à plusieurs millions de fois plus que les électrons. Elles réagiraient très faiblement tant avec la matière ordinaire qu'avec la lumière. Les axions ont été imaginés il y a 45 ans par les physiciens Frank Wilczek et Steven Weinberg. « J'ai choisi ce nom en hommage à une marque de les-



Les galaxies qui éclairent l'obscurité du Cosmos ne sont que de modestes bouées flottant dans un vaste océan cosmique de quelque chose qui ne ressemble à rien

Neil deGrasse Tyson
Astrophysicien



partie, comme de la matière ordinaire, elle devrait se concentrer dans le plan galactique et former une sorte de « deuxième disque galactique », certes invisible, mais semblable à la ceinture lumineuse de la Voie lactée. Lors de chaque traversée de ce disque sombre par le système solaire, la masse de matière noire exercerait des forces de marée. Bien qu'imperceptibles sur Terre, ces forces seraient significatives à l'échelle du système solaire et capables de perturber le mouvement des milliards de comètes du nuage de Oort, situé à ses confins. Certaines de ces comètes, éjectées de leur orbite, pourraient se diriger vers l'intérieur du système solaire et provoquer des collisions destructrices avec les planètes. L'une de ces collisions pourrait être à l'origine de l'extinction des dinosaures.

Si cette hypothèse se vérifiait, un scénario similaire pourrait se reproduire à l'avenir. En effet, à chaque passage périodique du système solaire à travers ce disque de matière noire, une pluie de comètes potentiellement dévastatrices pourrait être attirée vers nous. Cette hypothèse devrait renforcer encore notre motivation à étudier la matière noire.

Des années de tentatives

En dehors de sa dilution autour de la Terre, une autre raison complique encore davantage la détection de la matière noire sur Terre : nous sommes incapables de construire un piège efficace pour la capturer. Aucune barrière que nous pourrions concevoir ne serait assez étanche pour retenir les particules de matière noire.

En effet, la matière atomique dont nous disposons sur Terre est très poreuse. Les atomes sont constitués d'électrons gravitant autour d'un noyau, mais d'immenses espaces vides les séparent : 99,99 % de la masse d'un atome est concentrée dans son noyau, dont le diamètre est 100.000 fois plus petit que celui de l'atome. L'électron a presque la forme d'une pointe.

Une particule de matière noire est insensible aux forces électriques et nucléaires avec lesquelles les particules que nous connaissons interagissent, et la gravité à l'échelle microscopique est extrêmement faible. Pour être détectée, la particule recherchée devrait heurter le noyau atomique lui-même, provoquant un recul mesurable. De plus, il faudrait observer plusieurs collisions similaires afin que les scientifiques puissent exclure d'autres causes de telles collisions.

La probabilité qu'un tel événement se produise est infime, mais cela fait des années que l'on tente de détecter ces signaux. Les physiciens placent les détecteurs sous une épaisse couche de terre et de roche, protégés par un blindage de plomb, afin de filtrer les rayonnements ordinaires provenant de l'atmosphère et de l'espace. Ils guettent ensuite les rares collisions que les particules de matière inconnue pourraient provoquer avec les atomes du détecteur.

En Italie, sous le massif du Gran Sasso dans les Apennins, des chercheurs ont déployé un dispositif pour traquer ces particules, annonçant même à une occasion avoir détecté une trace de particules Wimp. Cependant, aucune confirmation n'a été apportée à ce jour.

De l'autre côté de l'Atlantique, les Américains ont mené leurs recherches dans les galeries de la mine Soudan, au Minnesota. Au XIX^e siècle, cette mine était exploitée pour ses riches gisements de minerai de fer. Elle a ensuite été transformée en laboratoire scientifique dans les années 80 par l'université du Minnesota. Des physiciens y ont étudié la stabilité des protons, ces particules qui composent les noyaux atomiques et qui, selon les connaissances actuelles, ne se désintègrent jamais. Les galeries ont également accueilli les détecteurs CDMS, destinés à traquer les particules de matière noire. Aujourd'hui, l'expérience se poursuit dans un laboratoire souterrain canadien, à deux kilomètres sous la surface, dans la mine de nickel Creighton, exploitée par l'entreprise Vale près de Sudbury, en Ontario.

Jusqu'à présent, aucune de ces expériences n'a permis de détecter un signal indiscutablement attribué aux particules de matière noire.

ABONNÉS



L'espoir repose sur de grands collisionneurs
A lire sur notre site.