

LE MONDE OBSCUR DE L'AUTRE CÔTÉ DU MIROIR

Lorsque nous regardons le monde autour de nous, nous avons l'impression de tout voir. Ou presque tout. En réalité, c'est loin d'être le cas, affirment les astrophysiciens : l'univers est rempli de matière noire invisible. Plus encore, tout près de nous pourrait exister un monde miroir parallèle entier, symboliquement nommé « monde sombre ». Mais de quelles particules pourrait-il être composé ? Ce monde pourrait-il être partiellement visible ?

Le Dr. Sergueï BLINNIKOV, astrophysicien à l'Institut astronomique d'État P.K. Chtenberg de l'Université de Moscou (MSU), docteur en sciences physiques et mathématiques, partage son éclairage sur ces questions lors d'une interview menée par Natalia Leskova.

— **Natalia Leskova** : Sergueï Ivanovitch, aujourd'hui même les écoliers ont entendu parler de la mystérieuse matière noire, mais personne ne comprend vraiment ce que c'est. Et vous, comprenez-vous de quoi il s'agit ?

— **Sergueï Blinnikov** : Non. Hélas, la science mondiale ne comprend pas encore ce qu'est précisément la matière noire. Certains chercheurs vont jusqu'à affirmer que la matière noire n'existe tout simplement pas et qu'il s'agit plutôt d'une gravitation modifiée. Les partisans et les adversaires de cette hypothèse avancent chacun des arguments, mais les arguments les plus solides plaident en faveur de la matière noire.

— **Vous n'avez donc aucun doute quant à l'existence de cette matière noire ?**

— Aucun doute. Elle doit nécessairement exister. Je ne peux croire que tous les effets attribués à la matière noire puissent simplement s'expliquer par une modification de la gravitation, car ces effets sont multiples. Les différentes théories de la matière noire, elles, sont capables d'expliquer de nombreux phénomènes.

— **De quels effets parlez-vous ?**

Tout a commencé il y a environ 90 ans avec le paradoxe de Fritz Zwicky. Il fut le premier au monde à remarquer que la masse totale des galaxies visibles dans l'amas galactique Coma (situé dans la constellation de la Chevelure de Bérénice, *Coma Berenices* en latin) était très insuffisante pour les maintenir ensemble par la seule gravité. Sa découverte est restée dans l'ombre pendant près de 40 ans, jusqu'à ce que l'astronomie des rayons X, dans les années 1970, révèle d'énormes quantités de gaz extrêmement chauds dans tous les amas galactiques. Ce gaz atteint des températures de plusieurs millions de degrés. Or, un gaz aussi chaud devrait être incapable d'être retenu dans ces amas si seule la masse visible était prise en compte.

Sans la matière noire, aucune structure cosmique, et donc aucun de nous, n'existerait. D'après les observations du rayonnement fossile du fond diffus cosmologique, les fluctuations initiales de température (environ 2,7 K) étaient extrêmement faibles : quelques microkelvins à peine. L'évolution théorique de ces faibles perturbations montre qu'elles

n'auraient pas pu croître suffisamment pour former les structures observées aujourd'hui sans la présence de matière noire.

— **Quels sont précisément ces effets dont vous parlez ?**

— En résumé, les fluctuations de densité dans la matière noire étaient beaucoup plus importantes que celles dans la matière ordinaire avant la recombinaison de l'hydrogène. Ces accumulations de matière noire ont formé des puits gravitationnels puissants, dans lesquels la matière ordinaire a rapidement été attirée et condensée, donnant naissance aux galaxies, étoiles et planètes. C'est ainsi que notre monde s'est constitué.

Il existe aussi d'autres preuves, comme la déviation de la lumière des quasars par les amas galactiques, un phénomène nommé lentille gravitationnelle forte. Selon la relativité générale d'Einstein, une telle lentille ne peut se produire qu'avec une masse bien supérieure à celle du seul visible.

Il y a également le cas des collisions d'amas de galaxies. Lorsque deux amas se traversent, le gaz chaud interagit fortement et ralentit, tandis que la majeure partie de la masse traverse sans perturbation apparente. Cela prouve que cette masse est constituée d'une matière quasiment sans interactions, autrement dit, la matière noire.

— **Vous avez mentionné une modification de la gravité. En quoi cela consiste-t-il et pourquoi les astrophysiciens ne s'en satisfont-ils pas ?**

— Il existe en effet des théories alternatives à la matière noire, comme la dynamique newtonienne modifiée (MOND) proposée dans les années 1980 par Mordehai Milgrom, et plus tard complétée par la théorie TeVeS développée par Jacob Bekenstein. Ces théories modifient les lois classiques de la gravité, permettant ainsi d'expliquer certaines anomalies sans recourir à une matière invisible. Mais elles souffrent de limites importantes. Par exemple, elles nécessitent différents ajustements pour chaque phénomène observé : le lentillage gravitationnel, la dynamique des galaxies ou encore la température des gaz intergalactiques. De plus, la théorie de Bekenstein prédit une vitesse de propagation des ondes gravitationnelles différente de celle de la lumière, ce que contredisent directement les récentes observations astronomiques.

Personnellement, je ne pense pas que tous les effets observés puissent être expliqués uniquement par une modification de la gravité. Cependant, je n'exclus pas totalement qu'une légère modification des lois gravitationnelles puisse aussi être nécessaire, particulièrement aux très petites ou très grandes échelles. D'ailleurs, la gravitation n'a pas encore été unifiée avec la mécanique quantique. Historiquement, l'électrodynamique a été complétée par la théorie quantique des champs. Quant à la gravitation, ce processus de quantification s'est avéré extrêmement difficile, ce qui laisse ouverte la possibilité que la relativité générale doive être modifiée, tout comme l'était l'électrodynamique classique.

— **Alors, concrètement, qu'est-ce que la matière noire ?**

— Au départ, pour expliquer empiriquement la matière noire, on a proposé l'existence de particules appelées WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles), particules massives à interaction faible. Certains physiciens théoriciens avaient introduit ces particules dans d'autres contextes, notamment la supersymétrie. Mais jusqu'à présent, malgré des investissements énormes dans les expériences, aucune particule de ce type n'a été détectée au sein des accélérateurs ou détecteurs spécialisés.

— **Pourquoi ces particules restent-elles insaisissables ?**

— Parce qu'une particule inconnue, pour être détectée, doit interagir suffisamment avec la matière du détecteur. Or, aucune WIMP n'a été observée depuis plusieurs décennies de recherches intensives. Peut-être que les instruments actuels ne sont tout simplement pas assez sensibles ou assez massifs pour détecter un phénomène aussi rare.

Ainsi, le mystère de la matière noire demeure entier.

Et cette théorie de la matière noire miroir que vous avez imaginée, de quoi s'agit-il exactement ?

Cette théorie a été inventée il y a longtemps par mon collègue Maxime Khlopov et moi-même. Plus précisément, en 1979, je pensais avoir inventé la matière miroir¹. Mais en réalité, dès 1966, Kobzarev, Okun et Pomerantchouk avaient déjà publié un article à ce sujet². Ils avaient supposé l'existence de particules reflétant toutes les propriétés de notre monde : ces particules auraient leurs propres protons, photons, et ainsi de suite. Autrement dit, il existerait des « doubles » de toutes nos particules — leptons, quarks, bosons... Mais ce monde miroir n'aurait en commun avec le nôtre que la gravitation (et peut-être une interaction extrêmement faible supplémentaire). Par exemple, nos photons resteraient invisibles aux observateurs du monde miroir, et inversement, leurs photons nous seraient totalement invisibles. Ces particules miroir ne pourraient pas participer à nos interactions électromagnétiques ou fortes habituelles, mais elles auraient leurs propres interactions fortes et électromagnétiques. Ainsi, ce monde miroir invisible pourrait parfaitement coexister avec le nôtre dans un même espace physique.

Ces particules sont tout à fait normales, mais avec une interaction très faible avec notre matière ordinaire. C'est exactement ce qu'il faudrait pour expliquer les propriétés observées de la matière noire. Cependant, à l'époque (1966), personne n'avait imaginé d'expériences susceptibles de détecter ces particules. À ce moment-là, non seulement les physiciens ignoraient la matière noire, mais les astronomes avaient aussi oublié la découverte initiale de Zwicky datant des années 1930. C'est seulement vers les années 1970 que les anomalies telles que la rotation anormale des galaxies et le gaz chaud des amas galactiques ont ressuscité les vieux travaux de Zwicky et d'autres astronomes d'avant-guerre.

Je tiens à souligner que Lev Borisovitch Okun et ses collègues avaient développé la théorie des particules miroir sans même connaître le problème de la matière noire. Dans leur article de 1966, ils avaient proposé pour la première fois au monde une théorie correcte des

particules miroir, en montrant leurs principales propriétés. Moi-même, avec Khlopov (et plus tard seul), ai initié pour la première fois au monde le développement de l'astrophysique et de la cosmologie des particules miroir dans l'hypothèse où cette matière miroir constituerait justement la matière noire.

En 1979, lors d'un séminaire théorique à l'Institut de Physique Théorique et Expérimentale (ITEP), j'avais entendu Lev Borisovitch parler de particules exotiques appelées particules-thêta et de leurs liaisons appelées « tétons »³. Nous plaisantions alors en disant qu'il les avait inventées pour expliquer la télépathie. Il avait écrit un article fascinant, selon lequel les tétons pourraient s'accumuler dans les organismes vivants et transmettre des signaux à travers une structure extrêmement subtile sur d'énormes distances. Cet article est encore aujourd'hui très cité.

Cependant, les contraintes expérimentales sur ces nouvelles particules deviennent de plus en plus strictes. Déjà à l'époque, Lev Okun avait prédit des oscillations inhabituelles de la Terre si ces particules miroir s'accumulaient dans ses profondeurs et suggérait leur détection par des méthodes sismiques. Mais je lui avais expliqué que ces particules de matière noire doivent frapper la Terre à des vitesses de plusieurs centaines de km/s (vitesse typique du halo galactique). Au mieux, cette vitesse serait d'environ 50 km/s si le Système solaire traversait un nuage de matière noire. Or, la gravité terrestre est faible : la vitesse de libération n'est que de 11 km/s. Par conséquent, ces particules traverseraient simplement la Terre sans s'y arrêter. En revanche, pour le Soleil, dont la vitesse de libération atteint plusieurs centaines de km/s, il serait envisageable que ces particules miroir s'y accumulent.

Ces particules miroir devraient interagir entre elles exactement comme nos particules ordinaires. Il existerait donc des atomes miroir, des grains de poussière miroir, des météorites miroir, des astéroïdes miroir, des planètes miroir, et même des étoiles miroir. Ces météorites et poussières miroir tomberaient sur des étoiles ordinaires comme notre Soleil et pourraient s'y accumuler, mais en quantités extrêmement faibles. Toutes ces idées figurent dans les articles populaires de Lev Okun. Celui-ci adorait tout ce qui était miroir. Plus tard, l'académicien Nikolai Kardachev a lui aussi développé cette idée, allant jusqu'à proposer d'utiliser les ondes gravitationnelles pour communiquer avec nos homologues intelligents dans ce monde miroir, puisque la gravité est commune à nos deux mondes.

— Tout cela n'est-il pas de la science-fiction ?

— Non, ce n'est contraire à aucune théorie physique. Toutefois, cela entre en contradiction avec certaines observations expérimentales. Par exemple, une création parfaitement symétrique de matière miroir ne résoudrait pas entièrement le problème de la matière noire, car celle-ci est environ cinq fois plus abondante que la matière baryonique ordinaire. Une stricte symétrie initiale produirait une quantité égale de matière miroir et de matière ordinaire. Il faudrait donc envisager d'autres scénarios, notamment qu'à l'époque de l'inflation cosmique, la quantité de matière miroir créée ait pu différer significativement de celle de la matière ordinaire.

Concernant les étoiles miroir, elles devraient être essentiellement composées d'hélium dès leur naissance, sans hydrogène initial, ce qui les rendrait similaires à certaines étoiles observées chez nous, privées d'hydrogène.

Pourtant, il existe des contradictions expérimentales évidentes, notamment lors des collisions d'amas de galaxies. Si ces amas contenaient du gaz miroir similaire au gaz ordinaire, ils interagiraient fortement et seraient ralentis lors des collisions, ce qui ne correspond pas à ce que nous observons réellement.

Quant aux méthodes pratiques pour chercher ces particules, la meilleure approche reste celle des effets de microlentille gravitationnelle. Mais les résultats expérimentaux à ce jour restent très limités. Malgré tout, je reste convaincu que nous découvrirons peut-être un jour la nature exacte de la matière noire, peut-être même au cours de ma vie. Ce serait alors une découverte exceptionnelle pour la science !

Et si, finalement, la matière noire n'existait pas, il faudrait alors modifier en profondeur notre conception de la gravitation elle-même. Peut-être qu'un jour quelqu'un y parviendra, mais actuellement, ce défi reste entier.