

MATIERE NOIRE : une limite du modèle standard de la physique ? | Par Gabriel LeGoff.

Avec la contribution active d'E. Leylavergne et S. Ozon, Ph.D.

La frustration devant l'incohérence de résultats d'observation, ce sentiment Fritz Zwicky n'a dû que trop bien le connaître en 1933. Astrophysicien originaire de Bulgarie et travaillant au *California Institute of Technology*, il tente de calculer la masse de plusieurs galaxies avec deux méthodes différentes: La première méthode consiste à observer le mouvement des différentes galaxies et à en déduire leur masse. Dans la seconde méthode Zwicky scrute non plus les mouvements des galaxies mais la lumière qu'elles nous envoient. Grâce à quoi il peut calculer leurs masses. On a en effet constaté que la masse d'une galaxie divisée par la quantité de lumière qu'elle nous envoie est plus ou moins égale à une constante pour certains types de galaxies connus ; connaissant la constante et la quantité de lumière on peut alors en déduire la masse. Et c'est là que Fritz Zwicky constate à sa grande surprise que la masse calculée avec la première méthode est environ 400 fois plus importante que la masse obtenue avec la seconde. Il pense tout d'abord s'être trompé dans ses calculs, mais après les avoir refaits plusieurs fois, il doit se rendre à l'évidence : il manque de la matière dans l'univers. Zwicky émet alors la théorie que cette différence de masse s'explique par la présence dans l'univers d'une grande quantité de matière différente de celle que nous connaissons, qui n'émettrait pas de lumière, et qui donc n'aurait pas d'interaction forte, faible ou électromagnétique. En effet la masse calculée avec la lumière correspond à la masse de la matière visible tandis que la masse calculée avec la gravité correspond à la masse de la matière visible plus la masse de la matière non visible.

Quand il porte ses résultats à la connaissance de ses confrères, ces derniers ne le prennent pas au sérieux. En effet cette théorie leur semble tout à fait extravagante. De plus les calculs utilisés pour trouver la masse reposent sur plusieurs autres théories non vérifiées. Enfin Zwicky n'a pas bonne réputation dans le milieu scientifique car il est colérique et insulte fréquemment ses collègues.

La théorie selon laquelle il existerait de la matière n'émettant pas de lumière et n'ayant pas d'autre interaction connue que celle de la gravité, n'est donc alors pas reconnue. Mais elle fera surface quelque décennies plus tard lorsque l'on s'apercevra que la quantité de matière observée dans les galaxies ne suffit pas à leur cohésion en amas : si les galaxies n'avaient comme matière que celle que nous voyons, étant donnée les forces en jeu, la gravité ne suffirait pas à leur donner la forme ramassée qu'on observe. Bien plus, elles devraient même se disperser et les galaxies n'existeraient tout simplement pas. Pour que tel amas existe, si on en croit les lois de la gravité, il faudrait qu'ils contiennent beaucoup plus de matière que la seule matière actuellement visible. C'est pourquoi désormais la matière noire est un concept acquis comme scientifiquement valide si bien qu'il n'est plus alors question de savoir si elle existe ou pas. Elle existe, mais nous n'en connaissons presque aucune propriété !

Nous savons que les étoiles (tout corps céleste émettant de la lumière) ont forcément une masse plus importante que les planètes. Le Soleil à lui seul représente plus de 95% de

toute la matière présente dans le système solaire, ceinture de Kuiper incluse. Ainsi, logiquement, les étoiles devraient représenter la plus grande quantité de matière de l'univers. Mais il s'avère qu'elle ne représente en vérité que 30% de la matière de l'univers ! Le reste serait donc composé de matière n'émettant pas de lumière, d'où le nom de « *matière noire* ». La matière noire n'aurait donc aucune interaction avec le reste de la matière à l'exception toutefois de l'interaction gravitationnelle (Les autres interactions étant cause d'émission de lumière), ce qui expliquerait alors les différences de masse constatées.

La première question qu'on est en droit de poser est la suivante : Le modèle standard de la physique décrit quatre interactions fondamentales : l'interaction forte (celle qui fait la cohésion des noyaux des atomes), l'interaction faible (la désintégration nucléaire, que l'on mesure comme radioactivité), l'interaction électromagnétique (celle qui fait la cohésion des atomes entre eux et qui décrit le comportement, entre autres, de la lumière) et enfin l'interaction gravitationnelle. Parmi ces quatre interactions trois sont parfaitement unifiées, c'est-à-dire les trois premières que nous venons de citer. En revanche l'interaction gravitationnelle n'est toujours pas unifiée aux autres. Il existe plusieurs théories, certaines assez saugrenues, de la théorie des cordes à celles d'univers parallèles, qui tentent de résoudre ce problème de la physique contemporaine.

Maintenant, la matière noire, très étonnamment, serait une forme de matière qui n'interagirait avec aucune des trois interactions que nous comprenons le mieux, mais qui interagirait uniquement avec celle que nous comprenons le moins bien (c'est-à-dire la gravité). Cela nous mène donc à nous demander si le seul moyen de résoudre le problème de la matière noire ne consistera pas dans la solution au problème de l'unité des quatre interactions. Autrement dit nous ne saurons ce qu'est la matière noire que lorsque nous aurons compris plus précisément ce que sont les relations qui gouvernent les quatre interactions et, surtout, lorsque nous comprendrons mieux ce qu'est la gravitation. Ainsi il faudrait que le modèle standard de la physique soit enfin unifié pour que la matière noire soit expliquée.

Mais on pourrait aussi se demander si la physique ne refait pas la même erreur qu'avec Vulcain. En 1855, l'astronome Le Verrier trouve une erreur dans le mouvement de Mercure autour du soleil : cette planète ne se trouve pas à l'endroit prévu par les calculs d'interaction gravitationnelle. Le Verrier fait alors l'hypothèse que la planète subit l'interaction gravitationnelle d'une autre planète qu'il nomme Vulcain, ce qui la ferait dévier de son orbite prédictible. Mais malgré tous ses efforts, il ne parvient pas à trouver la planète en question. Il en vient donc à supposer que c'est une planète... noire ! Quelques décennies plus tard Einstein démontrera que cette planète n'existe pas et que l'erreur des calculs de Le Verrier est due au système incomplet avec lequel ils avaient été effectués. En effet les calculs de Newton ne fonctionnent que dans un cadre limité. Pour justifier le résultat de calculs qui ne correspondaient pas à la réalité, on avait donc inventé un objet invisible dont on ne pouvait pas prouver l'existence. On pourrait alors se demander s'il n'en va de même avec la matière noire et si en réalité la différence de masse observée ne résulterait pas des calculs

eux-mêmes et des limites théoriques des modèles sur lesquels ils se fondent. En effet ils sont effectués dans le cadre du modèle standard actuel. Or c'est justement ce modèle que remet en cause la matière noire. Ce modèle se base sur une matière possédant les quatre interactions fondamentales, (forte, faible, électromagnétique et gravitationnelle) mais l'une de ces quatre interactions pose un problème de taille dans le système : on connaît la relation des trois autres forces entre elles, mais on ne sait pas unifier la gravité avec elles.

On pourrait même se demander s'il n'était pas formellement inévitable que le modèle standard produise de tels résultats. En effet le système tout entier qui conditionne nos calculs se fonde sur cette même inconnue qu'est l'interaction gravitationnelle. Autrement dit, c'est en ignorant ce qu'est fondamentalement la gravité que l'on a produit tous nos calculs sur la masse des galaxies.

On peut alors supposer que le problème de la matière noire ne sera résolu que quand on aura réussi à unifier la gravité avec les trois autres interactions. C'est exactement ce qui s'est passé avec Vulcain. Le problème n'a été résolu que lorsqu'on a abandonné le modèle ancien pour en adopter un nouveau qui en rectifie l'erreur. Et là encore le problème venait d'observations et de déductions fausses fondées sur un modèle théorique qui dans le cas précis du périhélie de Mercure, montrait une de ses limites intrinsèques. Pourquoi tente-t-on de déterminer ce qu'est la matière noire grâce à un modèle justement remis en cause par elle ? Et pourquoi s'obstine-t-on à vouloir préserver ce modèle ? Les réponses sont fort simples : l'on a besoin d'un modèle pour modéliser or il n'y en a pas d'autre ; d'autre part, l'homme a toujours du mal à remettre en question et à abandonner un savoir qu'il pensait détenir. Et plus ce savoir est ancien et complexe, plus l'homme a du mal à le détruire même s'il le sait nécessairement incomplet.

Ceci peut nous conduire à nous poser quelques questions plus générales. Pourquoi cherche-t-on un modèle sans limites pour comprendre le fonctionnement de l'ensemble de l'univers à partir d'interactions, alors qu'un modèle d'interaction est toujours fini ? Ne pousse-t-on pas trop loin l'ambition de la science ? D'après les critères de Karl Popper une théorie, pour être valide, doit être testable et réfutable. Ceci implique qu'elle doit définir ses limites. Ainsi la théorie de la gravitation de Newton n'a jamais été aussi scientifique que lorsqu'elle fut *réfutée* par le périhélie de Mercure et, surtout, lorsqu'elle a été supplantée par la relativité générale. Un modèle vient toujours réfuter un autre modèle antérieur, en monter les limites. Cela ne rend pas l'ancien modèle invalide, bien au contraire : désormais on sait exactement où et quand utiliser les équations de Newton et, ce qui est d'un intérêt scientifique primordial, où et quand ne plus les utiliser. Or si l'on cherche un modèle parfaitement unifié, cela revient à dire qu'on souhaite un modèle pouvant rendre raison de tous les phénomènes possibles, à toutes les échelles et pour tout référentiel. Par conséquent non seulement un tel 'modèle' ne serait jamais testable mais de plus il ne définirait pas ses limites, ce qui devrait alors le rendre fort peu crédible, ainsi que l'est, par exemple, la théorie des cordes : elle résout beaucoup de problèmes, presque tous les problèmes de la physique standard même, mais c'est en même temps ce qui la rend absolument impossible à tester et donc sans véritable crédibilité aux yeux de la communauté scientifique.

C'est ainsi que l'on peut conclure en disant que le problème de la matière noire sera résolu soit lorsqu'on aura produit un nouveau modèle théorique (et donc réfuté tout ou partie de l'actuel modèle), soit en découvrant de nouvelles interactions (et donc en augmentant le nombre de problèmes du modèle standard). Et dans tous les cas la solution ne viendra pas d'une quelconque unité théorique accomplie et achevée. Ceux qui croient cela font encore de la métaphysique, pas de la science.

Mais une dernière question se pose alors : pourquoi une théorie ne pourrait-elle pas s'autoriser davantage de spéculation ? C'est bien ce que fait tout physicien qui caresse l'espoir de découvrir la fameuse *théorie du tout*. Une telle notion n'est-elle pas un pur postulat spéculatif fondé sur l'idée que l'univers doit nécessairement obéir à une loi unique et première ? Pourquoi la science devrait-elle chercher à tout prix une théorie valable absolument ? Il n'y a pas grand-chose de rigoureusement expérimental, en tout cas, dans une telle quête ! Il n'est donc pas étonnant que nous en arrivions à des modèles de plus en plus abstraits et détachés de la physique observable. Ce qui dépasse la nature observable, physique, en grec ancien cela se dit *méta-phusis*.