

A la recherche de la matière noire

Les astrophysiciens bénéficient aujourd'hui d'instruments capteurs les plus perfectionnés grâce, en particulier, aux techniques spatiales mises à leur service pour observer les astres et les galaxies sous toutes les longueurs d'ondes. Pourtant, quelle frustration de constater que près de 90 % de la masse totale de l'univers échappe à toute possibilité d'investigation directe. Cette partie considérable de l'univers, dénommée « matière noire », « sombre » ou « invisible », semble régir de façon presque « dictatoriale » le mouvement des grandes structures (du niveau des galaxies jusqu'à celui des amas de galaxies), et même celui de l'univers entier si l'on étudie celui-ci sous le seul critère de ses aspects dynamiques.

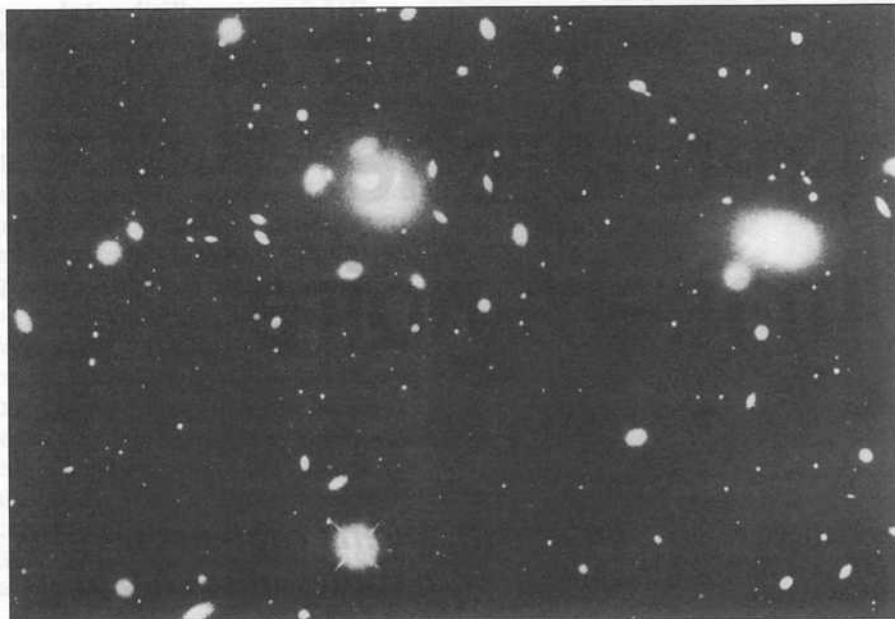
Philippe Jamet

La matière noire, dont la nature fait depuis des décennies l'objet d'âpres controverses, peut être considérée comme une des questions prioritaires auxquelles cherchent à répondre les astrophysiciens, à côté d'objectifs en apparence plus « simples » parce que mieux définis comme celui du calcul des structures des objets en rotation rapide (comme les pulsars et les étoiles à neutrons), ceux des pertes de masse dues au transfert par rayonnement, des critères de stabilité ou d'instabilité des structures stellaires ou encore du passage de l'inanimé au vivant en milieu planétaire. Dans tous les cas que nous venons de citer, les astrophysiciens avaient au moins l'avantage de pouvoir développer des théories, de faire des observations ou de « l'astrophysique de laboratoire » (cas de la physique atomique et moléculaire et de l'étude de la formation de molécules en milieu « hostile ») sur des objets ou des structures dont ils connaissaient assez bien la nature et leurs particularités.

Dans le cas de la matière noire, ils n'ont pu qu'en observer les effets indirects dus aux perturbations dynamiques qu'elle induit sans savoir vraiment à quoi ils ont affaire effectivement. Ils se retrouvent comme un boxeur confronté aux coups d'un adversaire invisible et dont il est nécessaire de pouvoir évaluer les déplacements « au jugé » avant de tenter de le coincer dans les cordes !

Preuves de son existence

L'existence de la matière noire apparut évidente dans les années 30, quand furent élaborés les premiers modèles fiables relatifs à la mécanique et à la dynamique des galaxies et des grandes structures. On constate un écart notable d'ordre dynamique entre les mouvements théoriques correspondant à la masse et à la luminosité de ces structures (rapport M/L) et les mouvements observés.



A gauche, l'amas de Coma, situé à 250 millions d'années-lumière de notre Galaxie et comprenant plusieurs milliers de galaxies. A droite, l'astronome Fritz Zwicky (1898-1974).

Dans les années 1932-1933, l'astronome bulgare-suisse Fritz Zwicky, émigré aux Etats-Unis et célèbre pour avoir été l'un des premiers à envisager l'existence des étoiles à neutrons issues de l'effondrement sur elles-mêmes d'étoiles massives, est chargé par le Caltech d'un programme de recherches sur la répartition des galaxies dans l'univers. Il se met ainsi à élaborer un catalogue photographique des galaxies identifiées à cette époque, en définissant la place de celles-ci et leurs mouvements propres par rapport aux amas auxquels elles appartiennent. A son grand étonnement, il constate une double perturbation dynamique : d'un côté, les mesures de vitesses relatives aux étoiles et aux nuages de gaz et poussières de chacune des galaxies observées sont beaucoup trop élevées au regard de leur masse visible ; d'un autre côté, les écarts sont encore plus élevés par rapport aux modèles théoriques dès que les observations sont effectuées à l'échelle plus macroscopique des amas de galaxies, structures pouvant regrouper jusqu'à plusieurs milliers de galaxies ! Au cours de ses observations, Zwicky remarque un phénomène étonnant au niveau de l'amas de Coma, une structure située à un peu plus de 250 millions d'années-lumière de notre galaxie, regroupant plusieurs milliers de galaxies à l'intérieur d'une sphère imaginaire de 25

millions d'années-lumière. Zwicky montre que les vitesses individuelles de déplacement des composants galactiques de Coma et leurs rapports respectifs sont, sans le moindre doute possible, « anormales et excessives ». Il arrive à la conclusion suivante : le maintien de l'équilibre dynamique de l'ensemble de l'amas n'est explicable que par la présence de très importantes quantités de matière optiquement non détectable à l'intérieur et autour de ces galaxies.

Pour comprendre cette relation entre la vitesse de déplacement et un composant galactique individuel observé et la masse totale de l'amas dans lequel cette galaxie se trouve, il faut faire appel aux lois de la mécanique céleste et aux forces de gravitation. Elles expliquent pourquoi l'interaction de corps en mouvement agissant les uns sur les autres (planètes par rapport à une étoile, étoiles entre elles, galaxies entre elles) se traduit par des mouvements relatifs dotés d'une vitesse propre à chacun des composants de l'ensemble par rapport à un centre de gravité commun. La masse totale de l'ensemble est ainsi déduite de ces effets gravitationnels. D'une façon générale, et tous les travaux effectués depuis ceux de Zwicky semblent le confirmer¹, l'étude des associations galactiques révèle que les vitesses de déplace-

ment de leurs composants (mesurées par Effet Doppler) sont beaucoup trop élevées pour qu'on les explique par un simple manque de fiabilité des mesures.

L'astrophysique spatiale a permis de nous faire une idée plus précise des structures et des répartitions en différents types d'étoiles de la plupart des galaxies facilement observables par les instruments en orbite. Certaines indications nous mènent à croire que d'importantes quantités de cette matière noire seraient « infiltrées » au cœur même des galaxies. Cette hypothèse a été renforcée depuis 1983 grâce aux découvertes réalisées par le satellite américano-anglo-néerlandais IRAS lors d'observations de galaxies spirales. Elles ont révélé, entre autres, que nombre de ces galaxies émettent des quantités *anormales* de rayonnement dans l'infrarouge lointain. D'ordinaire, ce rayonnement est dû à l'existence, au sein des galaxies, d'immenses nuages de poussières où se trouvent des composants dont les arrangements atomiques favorisent le transfert du rayonnement UV des étoiles avoisinantes vers l'infrarouge, excitant ces poussières par cette variante particulière du spectre électromagnétique. Dans le cas détecté par IRAS, la quantité d'UV réellement rayonnée est à elle seule *insuffisante* pour provoquer l'excitation

nécessaire des poussières correspondant au niveau d'émission en infrarouge détecté. L'astrophysicien néerlandais Valentijn (dont l'équipe a travaillé sur IRAS) voit dans ces résultats la preuve (complémentaire aux perturbations d'équilibre dynamique) de l'existence d'importantes quantités de matière noire au sein de ces galaxies. Dans ce cas précis, il y a interaction avec la matière visible mais par le biais d'un phénomène physique encore inconnu qui ne concerne peut-être qu'une partie de cette matière noire dont les diverses composantes ne sont probablement pas toutes interactives avec la matière ordinaire. L'addition des tous ces éléments explique pourquoi les vitesses individuelles mesurées de ces galaxies n'aboutissent pas à la dislocation des amas et des groupes, phénomène jamais constaté dans l'univers.

D'autre part, l'étude d'un certain nombre de structures lointaines, à la limite de « visibilité » de nos instruments (comme par exemple les quasars) laisse penser qu'il y a *quelque chose* entre elles et nous et que ce « quelque chose » joue un rôle de « frein » du mouvement général d'expansion de l'univers, au prix de forces gravitationnelles gigantesques.

De ce dernier point de vue, les implications cosmologiques de la matière invisible apparaissent évidentes et, sans même avoir acquis un minimum de certitudes sur sa nature, de nombreux théoriciens et astrophysiciens l'ont intégrée dans des modèles où elle est compatible avec le phénomène de nucléosynthèse primordiale responsable de la formation des éléments les plus légers de l'univers, à savoir le deutérium, l'hélium 3, l'hélium 4 et le lithium 7. C'est le cas notamment de Jean Audouze, directeur de l'Institut d'Astrophysique de Paris, et d'un autre spécialiste, M. Delbourgo-Salvador. Parmi les hypothèses retenues par les deux astrophysiciens, notons celle où la matière noire serait de nature semi-baryonique. Elle se serait formée selon un processus de photofission partielle de l'hélium 4 et du lithium 7, au sein du deutérium et de l'hélium 3, par l'intermédiaire de photons hyper-énergétiques produits

EN SEPTEMBRE DANS FUSION

La science, passionnément !

Dossier :
la magnétohydrodynamique

**Le Japon se lance dans
un programme spatial ambitieux**

**Le danger de
l'implosion démographique**

par la désintégration de neutrinos très massifs et de particules dont l'existence semble probable pour de nombreux physiciens, à savoir les gravitinos. L'origine cosmologique de cette matière et sa nature « dissociée » expliquerait pourquoi son interaction avec la matière ordinaire serait faible, voire nulle, ainsi que les conditions de sa formation dans des conditions de températures extrêmement élevées ou très basses. Le rôle que cette matière a pu jouer comme « catalyseur » des grandes structures (même s'il ne participe pas à la réaction) a attiré beaucoup de physiciens des particules dans les programmes de collaboration pluridisciplinaire avec les astrophysiciens. Toutefois, de nombreuses années auparavant, d'autres spécialistes envisageaient qu'il puisse ne pas exister une explication unique au phénomène de la matière noire...

Il nous faut également noter, qu'outre le processus de vitesse anormale des galaxies et des amas, la présence massive de matière sombre au niveau des grandes structures est également révélée par les cartographies radiogalactiques de l'hydrogène neu-

tre à 21 centimètres. Cet hydrogène, sous forme de nuages, est un composant essentiel des parties internes et externes de toutes les galaxies et l'examen des cartes radio à 21 cm d'un grand nombre de galaxies montre en effet que ces nuages d'hydrogène subissent des distorsions étonnantes qui s'étendent bien au-delà de la structure galactique proprement dite et dans le cadre de configuration anormales. Tout ceci prouve que ces nuages subissent massivement des effets gravitationnels incompréhensibles à moins de faire appel à l'existence d'une matière « extérieure » non détectable par nos moyens traditionnels.

Questions longtemps sans réponse

Il est flatteur pour nous de constater que, dans le cadre des efforts considérables entrepris au niveau international pour tenter d'identifier ce que peuvent être les composants de cette matière noire, les astrophysiciens de l'hexagone semblent avoir pris une place de choix, que ce soit

