



Le nombre et la répartition des petites galaxies en orbite autour de la Voie lactée étonnent les astrophysiciens. Ces galaxies naines ont peut-être gagné leur place actuelle en parcourant des filaments de matière noire qui traversent l'Univers entier.

Parfois, présenter son travail de recherche aux autres spécialistes de son domaine peut être difficile... « N'importe quoi ! Foutaises ! Balivernes ! » s'est exclamé Pavel Kroupa, astrophysicien à l'Université de Bonn, en Allemagne, alors que j'étais sur l'estrade de l'amphithéâtre. Ce genre de situation est d'autant plus difficile à gérer lorsqu'on est étudiant en thèse et candidat à un poste de chercheur postdoctorant. J'étais venu à Bonn pour exposer en 45 minutes mes travaux sur les petites galaxies satellites qui entourent la Voie lactée. J'avais contribué à développer une théorie expliquant pourquoi ces mystérieux objets sont situés sur ce qui apparaît comme une ligne droite traversant le ciel, un alignement inattendu et très curieux. P. Kroupa, manifestement, n'était pas convaincu par mes arguments.

La plupart des galaxies semblables à la Voie lactée seraient entourées de dizaines de petites galaxies satellites en orbite autour d'elles. Ces galaxies sont extrêmement pâles et difficiles à observer. Seules les plus brillantes et les plus proches ont été détectées autour de la Voie lactée et autour de sa voisine, la galaxie d'Andromède. Mais ces galaxies satellites naines n'évoluent pas sur des orbites aléatoires. Au contraire, elles se trouvent toutes dans un même plan, que nous voyons par la tranche (*voir l'encadré page 51*).

Cet alignement est inattendu. Les simulations informatiques de l'évolution des galaxies prévoient que les galaxies satellites se répartissent de façon sphérique autour de la galaxie centrale. On a longtemps pensé qu'un tel arrangement résultait de la distribution sphérique, autour de la galaxie, de la matière noire. Cette substance hypothétique, qui n'interagit avec la matière ordinaire que par la force gravitationnelle, est censée être omniprésente dans l'Univers, et jouerait un rôle clef dans la formation des galaxies et l'expansion du cosmos.

Cependant, l'énigme de l'alignement des galaxies naines est telle qu'elle a conduit certains astronomes, dont P. Kroupa, à contester l'existence même de la matière noire. « L'idée de la matière noire est en échec, dit-il en interrompant ma présentation, puisque la distribution sphérique des satellites autour de la Voie lactée, une prédiction déduite

LA MATIÈRE NOIRE
(en noir sur cette simulation)
se concentre en filaments
qui s'étendent à travers tout l'Univers.
Les galaxies (en jaune) tendent
à se trouver au croisement de ces
filaments. Cette simulation a été
effectuée sur les superordinateurs
de l'Institut Kavli d'astrophysique
des particules et de cosmologie
de l'Université Stanford.

Museum américain d'histoire naturelle

de cette idée, est clairement en contradiction avec ce que nous observons.»

J'exposais une vision différente qui repose sur la matière noire. J'expliquais l'alignement très particulier des satellites galactiques en invoquant des structures cosmiques de matière noire qui s'étendraient bien au-delà du voisinage immédiat de la Voie lactée. Bien que certains, tel P. Kroupa, soient sceptiques et n'adhèrent pas à cette explication, des travaux récents, et notamment les miens, montrent que l'existence d'un réseau d'énormes filaments de matière noire expliquerait l'alignement surprenant des galaxies satellites dans le ciel.

L'existence de la matière noire au centre de ce débat a d'abord été postulée pour expliquer d'autres caractéristiques étonnantes des galaxies. Dans les années 1930, l'astronome américano-suisse Fritz Zwicky a voulu «peser» l'amas de la Chevelure de Bérénice, qui regroupe un millier de galaxies. Il a commencé par mesurer la vitesse des galaxies de l'amas. À sa grande surprise, il a trouvé des vitesses énormes : des milliers de kilomètres par seconde, assez pour que l'amas se disloque. Or la masse visible de l'amas ne pouvait pas assurer la cohésion de l'ensemble par sa force gravitationnelle. Zwicky en a conclu que l'amas devait être rempli d'une matière invisible qui contribue à la force gravitationnelle. Cette substance manquante a depuis été nommée «matière noire».

Matière manquante

Dans les décennies suivantes, les astronomes ont trouvé des indices de la présence de matière noire partout dans l'Univers, dans presque toutes les galaxies observées. Dans la Voie lactée, le mouvement des étoiles à la périphérie de la galaxie a été étudié. Comme les galaxies de l'amas de la Chevelure de Bérénice, ces étoiles sont en déplacement trop rapide pour être retenues par la matière que nous voyons. Le même type d'analyse réalisé sur la dizaine de galaxies naines de la Voie lactée indique que leur abondance en matière noire serait encore plus grande.

L'ubiquité de ces indices a renforcé la conviction que la matière noire existe bien. En fait, la plupart des chercheurs en cosmologie estiment que la matière noire

L'AUTEUR



Noam LIBESKIND est astrophysicien. Il crée des modèles informatiques de l'Univers à l'Institut Leibniz d'astrophysique de Potsdam, en Allemagne.

LES SIMULATIONS DE POINTE
modélisent avec succès des milliards de particules dans un volume approchant la taille de l'Univers observable.

Un MOND sans matière noire ?

Pour Pavel Kroupa, la matière noire échoue à expliquer la distribution des galaxies naines. Il en déduit qu'elle n'existe pas. Selon le chercheur, les galaxies naines se forment dans un plan suite à la collision de deux galaxies. Par ailleurs, pour expliquer le profil des vitesses des galaxies, c'est-à-dire la vitesse des objets galactiques par rapport à leur distance au centre de la galaxie, P. Kroupa fait appel à la théorie MOND (*Modified Newtonian Dynamics*) proposée par Mordehai Milgrom. Cette théorie lui permet de se passer de matière noire. Mais le modèle de P. Kroupa rencontre aussi des difficultés : par exemple, les galaxies naines devraient contenir du gaz, ce qui n'est pas confirmé par les observations.

constituerait environ 80 pour cent de toute la matière présente dans l'Univers.

Cette abondance de la matière noire implique qu'elle joue un rôle crucial dans la façon dont l'Univers a évolué et s'est structuré au cours du temps. À partir des années 1970, les cosmologistes ont simulé l'histoire de l'Univers à partir de modèles numériques. L'idée est simple : l'ordinateur doit se représenter un volume imaginaire, placer des particules ponctuelles imaginaires (qui représentent des grumeaux de matière noire) sur un réseau pratiquement parfait à l'intérieur de ce volume, calculer l'attraction gravitationnelle exercée sur chaque particule par toutes les autres, déplacer chaque particule en fonction de la gravité exercée par les autres, et itérer ce processus sur 13 milliards d'années.

Ces approches se sont enrichies et ont gagné en complexité depuis les années 1970, mais le principe reste le même. Il y a 40 ans, les programmes informatiques ne pouvaient gérer que quelques centaines de particules. Aujourd'hui, les simulations de pointe modélisent avec succès des milliards de particules dans un volume approchant la taille de l'Univers observable.

Les simulations numériques du cosmos ont été très utiles pour étudier les galaxies isolément, mais elles ont révélé quelques énigmes. Par exemple, les modèles informatiques concluent que la matière noire du «halo» qui entoure la Voie lactée devrait attirer le gaz et la poussière et les agréger en grumeaux. Ces derniers devraient se contracter sous l'effet de la gravité, formant à terme des étoiles et des galaxies naines. Dans le cas de la Voie lactée, l'abondance de la matière noire implique que des galaxies naines devraient se former par milliers. Et pourtant, quand on observe le ciel nocturne, on n'en voit que quelques dizaines. Ce déficit, mis en évidence dès les années 1990, constitue le «problème des galaxies satellites manquantes».

Les astronomes ont avancé quelques solutions possibles à ce problème. Première hypothèse : il se peut que tous les satellites observés dans les simulations ne correspondent pas vraiment à des galaxies satellites réelles. Les plus petits grumeaux de matière noire pourraient ne pas avoir une masse suffisante (et donc ne pas exercer une attraction gravitationnelle