

Les astronomes ont mis du temps à se rendre compte de l'importance de la matière noire. Pour ma part, j'en fus convaincu dès mon premier projet en tant que postdoctorant à l'Université de Californie à Berkeley, en 1978. Je mesurais la vitesse des nuages moléculaires géants – où se forment les étoiles – dans les régions externes de la Voie lactée, avec une méthode que j'avais mise au point et qui était alors la plus précise. Deux spécialistes de la Voie lactée, Frank Shu et Ivan King, étaient présents lorsque j'ai commencé à reporter sur un graphique les vitesses de rotation autour du centre galactique des nuages les plus éloignés. Ces vitesses mettaient en évidence que la Voie lactée regorge de matière noire, en particulier vers l'extérieur. Perplexes, nous avons essayé d'imaginer quelle était la nature de cette matière noire. Toutes nos idées se sont rapidement révélées fausses.

Cette étude et de nombreuses autres dans les années 1970 et 1980 ont obligé les astronomes à admettre que non seulement la matière noire, une substance mystérieuse qui n'émet pas de lumière, n'interagit pas avec cette dernière et ne se trahit que par son influence gravitationnelle, existe bel et bien, mais qu'en plus elle est largement dominante dans l'Univers. Les mesures du fond diffus cosmologique indiquent que la matière noire représente cinq fois plus de masse que la matière ordinaire, ou baryonique (protons, neutrons, électrons, etc.). Cependant, on ne sait toujours pas quelle est la nature de cette substance. Disons simplement que, d'après l'hypothèse la plus prudente, la matière noire est formée de particules exotiques qui n'ont pas encore été détectées dans les accélérateurs, prédites par des théories n'ayant pas encore été vérifiées. L'hypothèse la plus radicale est que la théorie de la gravitation de Newton comme la théorie de la relativité d'Einstein seraient fausses, ou tout au moins nécessiteraient des corrections majeures.

Quelle que soit sa nature, la matière noire apporte néanmoins des clés pour résoudre des énigmes concernant certaines caractéristiques de la Voie lactée. On sait par exemple depuis plus de 50 ans que les régions externes de la galaxie sont gauchies, comme un disque en vinyle oublié sur un radiateur. Les astronomes ne parvenaient pas à élaborer de modèle satisfaisant pour expliquer ce gauchissement, jusqu'à ce qu'ils prennent en compte les effets de la

matière noire. De même, les simulations numériques de la formation des galaxies s'appuyant sur les propriétés supposées de la matière noire prédisent que notre Galaxie devrait être entourée de centaines, voire de milliers, de petites galaxies satellites. Mais les observateurs n'en voyaient qu'une vingtaine. Or plusieurs équipes ont récemment découvert quantité de galaxies naines satellites, ce qui réduit le désaccord avec les simulations. Ces nouveaux satellites contribuent non seulement à résoudre un mystère de longue date concernant la structure galactique, mais ils pourraient nous révéler des informations sur l'inventaire total de la matière cosmique.

Un 33 tours oublié sur un radiateur

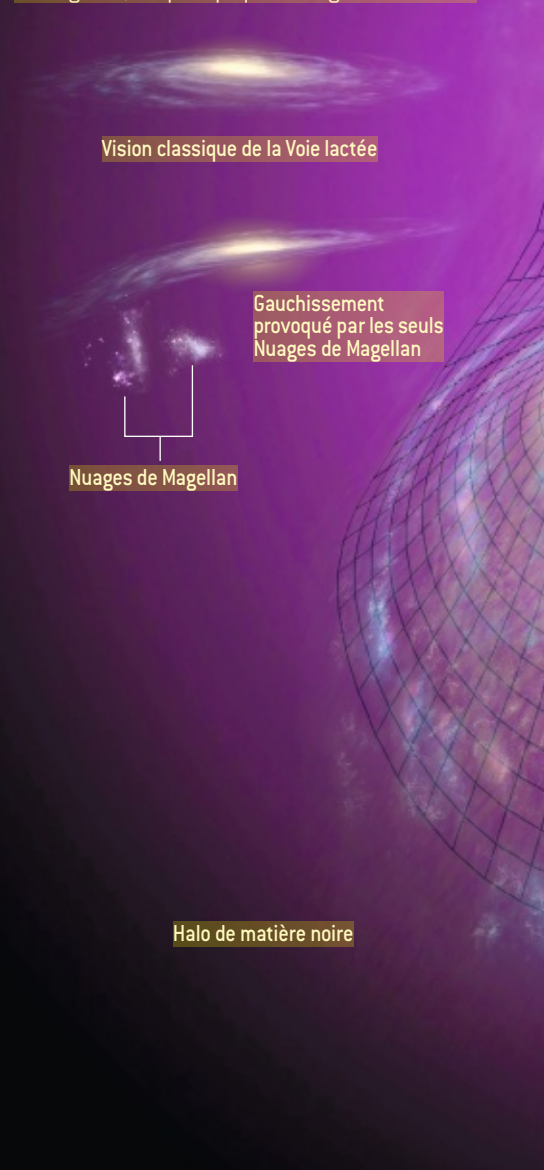
Pour comprendre ce que la matière noire nous dit sur la Voie lactée, une première étape consiste à dresser un tableau général de l'organisation de la Galaxie. La matière ordinaire (les étoiles et le gaz) se trouve regroupée au sein de quatre structures majeures : un disque mince (qui inclut les bras spiraux, et incidemment le Soleil), un noyau dense (qui abrite un trou noir supermassif), un bulbe allongé que l'on nomme la « barre », et un « halo » grossièrement sphérique de vieilles étoiles et d'amas stellaires qui enveloppe le reste de la Galaxie. La matière noire a une répartition très différente. Bien que nous ne puissions pas l'observer, nous pouvons le déduire à partir de ses effets gravitationnels sur le matériau visible, et plus précisément sur la vitesse de rotation d'ensemble des étoiles et du gaz. Les vitesses observées suggèrent que la matière noire est distribuée de façon à peu près sphérique et s'étend bien au-delà du halo stellaire, avec une densité qui est maximale au centre et décroît approximativement comme le carré de la distance. Une telle distribution serait le résultat naturel de la « fusion hiérarchique », hypothèse selon laquelle dans l'enfance de l'Univers, les petites galaxies se sont accrétées pour en former de plus grosses, comme la Voie lactée.

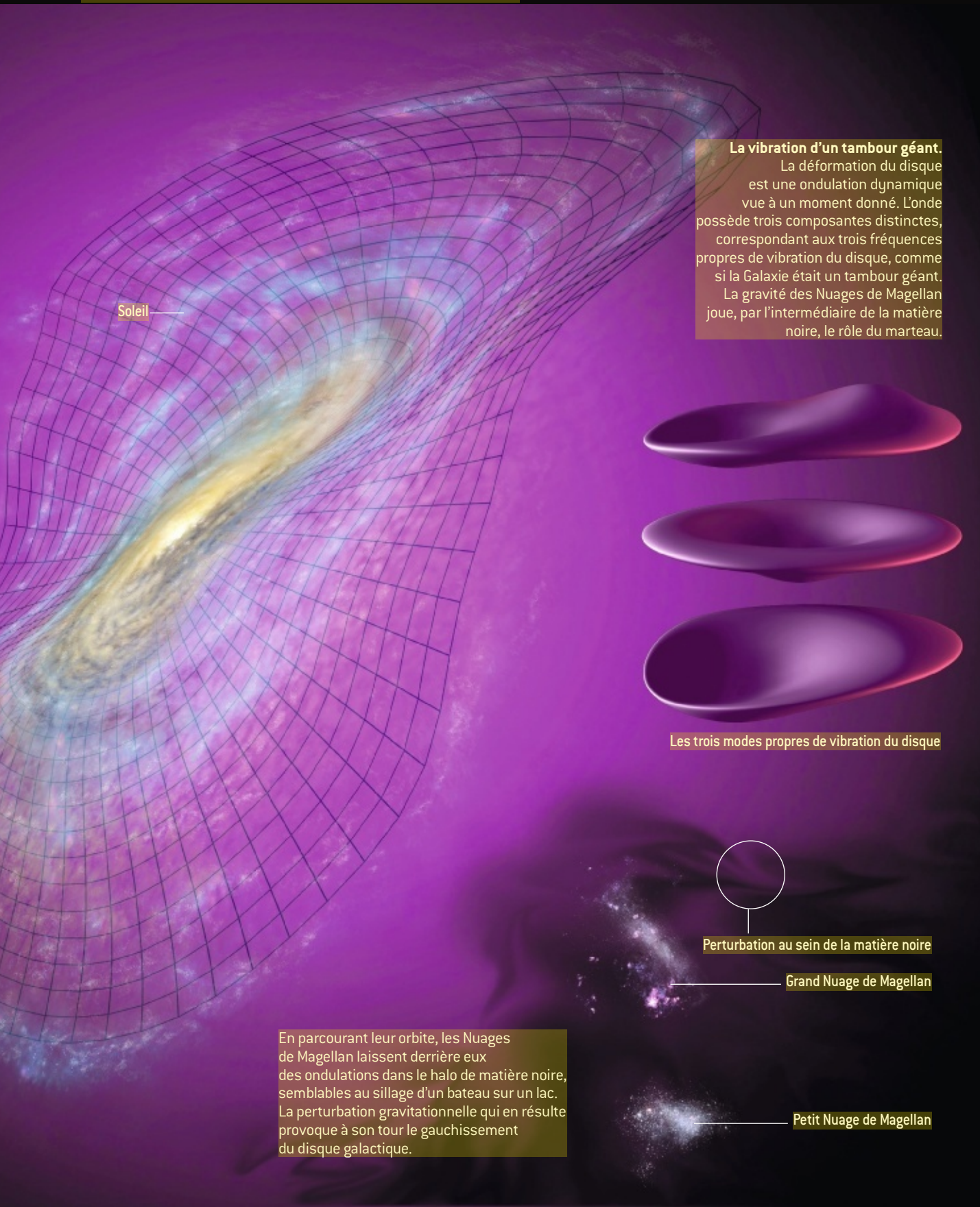
Pendant des années, les astronomes sont restés bloqués sur ce tableau grossier de la répartition de la matière noire : une gigantesque boule non différenciée de matière inconnue. Plus récemment, cependant, nous avons réussi à collecter plus de détails, et la matière noire s'est révélée être

Le disque contient l'essentiel des étoiles et du gaz de notre Galaxie. Sa taille et son épaisseur sont proportionnellement proches de celles d'un 33 tours. Ce disque est tordu, un peu comme un 33 tours oublié sur un radiateur.

Une vieille hypothèse revisitée

Une hypothèse datant des années 1950 attribuait le gauchissement du disque à la gravité de deux galaxies satellites, le Grand et le Petit Nuage de Magellan. Elle a été abandonnée, car ces satellites sont trop légers pour avoir des effets notables sur notre Galaxie. Cependant, on sait aujourd'hui que la partie visible de la Voie lactée est plongée dans un énorme halo sphérique de matière noire. Il a été montré que la matière noire peut amplifier l'influence gravitationnelle des Nuages de Magellan, ce qui expliquerait le gauchissement.





La vibration d'un tambour géant.

La déformation du disque est une ondulation dynamique vue à un moment donné. L'onde possède trois composantes distinctes, correspondant aux trois fréquences propres de vibration du disque, comme si la Galaxie était un tambour géant. La gravité des Nuages de Magellan joue, par l'intermédiaire de la matière noire, le rôle du marteau.

Soleil



Les trois modes propres de vibration du disque

Perturbation au sein de la matière noire

Grand Nuage de Magellan

Petit Nuage de Magellan

En parcourant leur orbite, les Nuages de Magellan laissent derrière eux des ondulations dans le halo de matière noire, semblables au sillage d'un bateau sur un lac. La perturbation gravitationnelle qui en résulte provoque à son tour le gauchissement du disque galactique.



Eckhard Starik

2. LE GRAND NUAGE DE MAGELLAN, le plus gros satellite de la Voie lactée, pourrait agiter le halo de matière noire qui baigne notre Galaxie.

✓ SUR LE WEB

Le site du relevé SDSS :
<http://www.sdss.org/>

Une animation de la vibration
du disque galactique :
[www.ScientificAmerican.com/
oct2011/blitz](http://www.ScientificAmerican.com/oct2011/blitz)

L'AUTEUR



Leo BLITZ, professeur d'astronomie, dirige le Laboratoire de radioastronomie de l'Université de Californie à Berkeley.

plus intéressante que ce que l'on avait prévu. Plusieurs faisceaux d'indices suggèrent qu'elle n'est pas distribuée de façon continue, mais présente des grumeaux à grande échelle.

Une telle irrégularité expliquerait le « gauchissement » de la Galaxie, une distorsion spécifique que présente la périphérie du disque galactique. À des distances supérieures à environ 50 000 années-lumière du centre, le disque est presque entièrement constitué d'hydrogène sous forme atomique, et ne comporte que peu d'étoiles. La cartographie de ce gaz à l'aide de radiotélescopes révèle qu'il s'écarte du plan de la Galaxie, écart d'autant plus marqué que l'on va vers l'extérieur. À 75 000 années-lumière, le disque se situe 7 500 années-lumière hors du plan galactique, soit en dessous, soit au-dessus. En d'autres termes, vue de profil, la Galaxie ressemble à un S à l'horizontal.

Tout en tournant autour du centre galactique, le disque oscille en fait de haut en bas, passant au-dessus, puis au-dessous du plan. Cette oscillation se déroule sur des centaines de millions d'années et nous la voyons à un moment donné de son cycle.

Le disque de gaz se comporte un peu comme un tambour géant qui vibre au ralenti. À l'instar du tambour, il peut vibrer selon de multiples fréquences, correspondant chacune à une certaine déformation de la surface. En 2005, avec mes collègues, nous avons montré que le gauchissement observé est la somme de trois de

ces fréquences. La résultante est asymétrique : le gaz situé d'un côté de la Galaxie est beaucoup plus éloigné du plan de la Galaxie que le gaz situé à l'opposé.

Les radioastronomes qui ont les premiers remarqué le gauchissement dans les années 1950 ont pensé qu'il pouvait résulter de l'influence gravitationnelle des Nuages de Magellan, les deux galaxies satellites de la Voie lactée les plus massives. En effet, leur orbite étant hors du plan de la Voie lactée, leur gravité tend à déformer le disque. Mais des calculs détaillés ont montré que ces forces de marée sont trop faibles pour expliquer le gauchissement : les Nuages de Magellan sont tout simplement trop peu massifs. Pendant des décennies, l'origine du gauchissement est restée un mystère.

Le marteau noir du tambour galactique

La prise de conscience que la Voie lactée contient de la matière noire, ainsi que la réestimation à la hausse de la masse des Nuages de Magellan, ont introduit une nouvelle possibilité. Si le disque de gaz joue le rôle de tambour géant, les Nuages de Magellan en orbite au sein du halo de matière noire pourraient jouer – indirectement – celui du marteau qui fait résonner le tambour. Les Nuages créent un sillage dans la matière noire, de la même façon qu'un train d'ondes se forme derrière un bateau qui fend l'eau. Le mouvement du nuage crée ainsi des irrégularités dans la distribution de matière noire ; irrégularités qui font osciller les régions externes du disque, de faible masse. Par conséquent, bien que les Nuages de Magellan soient minuscules, la matière noire amplifie leurs effets.

Martin Weinberg, de l'Université du Massachusetts à Amherst, a avancé cette idée en 1998. Tous les deux, nous l'avons ensuite appliquée à des observations de la Voie lactée, et nous avons montré que nous parvenions à reproduire les trois modes de vibration du disque de gaz. Si notre théorie est correcte, le gauchissement est une caractéristique dynamique de la Voie lactée, et change continuellement avec le déplacement des Nuages de Magellan. La forme de la Galaxie n'est pas fixe, mais en perpétuelle évolution.

Le gauchissement n'est pas la seule asymétrie qui affecte la forme de la Voie lactée. Une des plus remarquables est celle