

Pour la petite histoire, le 10 avril, j'étais en Ouzbékistan. Avec le faible wifi de l'hôtel, j'ai suivi la conférence de presse de l'EHT. C'était un peu frustrant de ne pas pouvoir répondre aux nombreuses sollicitations.

**Les trous noirs sont aussi au centre d'une découverte majeure, la détection d'ondes gravitationnelles en septembre 2015. Qu'est-ce que cela vous inspire ?**

**Jean-Pierre Luminet :** Là encore, c'était attendu, puisque parfaitement prévu par la théorie. D'autre part, de nombreux progrès instrumentaux et techniques laissaient penser qu'on y arriverait. Mais peut-être pas aussi vite... La détection a eu lieu dès que le niveau de sensibilité nécessaire a été atteint. Et, depuis, les événements s'accumulent. Déjà dix ont été confirmés, et l'on compte une trentaine de candidats en attente de validation.

**Est-ce étonnant qu'il y en ait autant ?**

**Jean-Pierre Luminet :** C'est en effet une surprise. Il y a beaucoup plus de fusions de trous noirs, et donc de trous noirs, qu'on ne le pensait. En outre, les estimations de masses données correspondent à des trous noirs plus massifs qu'on ne l'imaginait. Le jour par *Virgo* et *Ligo*. Pour espérer «entendre» par exemple les ondes gravitationnelles dites «primordiales», prédites par certains modèles, les appareils doivent gagner en sensibilité. C'est le sens de *Lisa*, un projet d'interférométrie spatiale de l'Agence spatiale européenne (ESA), une mission phare de l'astrophysique du XXI<sup>e</sup> siècle.

**On pense alors à la matière noire...**

**Jean-Pierre Luminet :** Les trous noirs sont de fait des candidats naturels pour l'expliquer. Mais il y en a toujours beaucoup trop peu pour rendre compte d'une partie significative de cette matière noire. Même les trous noirs primordiaux, nés peu après le Big Bang, sont insuffisants.

Avec ces ondes gravitationnelles, le plus intéressant est ailleurs : dans la détection de celles nées de la fusion de deux étoiles à neutrons, comme ce fut le cas le 17 août 2017, car on dispose également du signal électromagnétique qui accompagne le phénomène, notamment le sursaut gamma. On peut en suivre la décroissance grâce à tout un arsenal de télescopes dans les longueurs d'onde différentes (voir *À l'écoute des ondes gravitationnelles*, par D. Buskulic, page 22). Tous les modèles de coalescences peuvent alors être testés et contraints.

**On entend dire que ces ondes gravitationnelles sont une nouvelle fenêtre sur l'Univers. Qu'en pensez-vous ?**

**Jean-Pierre Luminet :** C'est bien le cas. Avec les ondes gravitationnelles, on est débarrassé de toute autre forme d'interaction, car l'Univers y est totalement transparent. La totalité de l'Univers devient accessible, même la période datant d'avant le fond diffus cosmologique, c'est-à-dire les 380 000 premières années de l'histoire cosmique pour lesquelles on ne dispose d'aucun signal électromagnétique (l'Univers était opaque).

Reste néanmoins le problème de l'amplitude. Seules les ondes gravitationnelles émises par les systèmes binaires dont nous avons parlé sont détectables à ce jour par *Virgo* et *Ligo*. Pour espérer «entendre» par exemple les ondes gravitationnelles dites «primordiales», prédites par certains modèles, les appareils doivent gagner en sensibilité. C'est le sens de *Lisa*, un projet d'interférométrie spatiale de l'Agence spatiale européenne (ESA), une mission phare de l'astrophysique du XXI<sup>e</sup> siècle.

Les fréquences sont aussi un paramètre important. *Lisa* aura accès à des gammes correspondant cette fois à la fusion de deux trous noirs supermassifs, un événement consécutif à la fusion de galaxies.

Autre avantage de *Lisa*, l'anticipation. Avec les détecteurs au sol, on ne recueille le signal que des quarante dernières secondes de la fusion. Le futur dispositif (une constellation de trois satellites formant un triangle équilatéral de 2,5 millions de kilomètres de côté) détectera quasiment dix ans avant la fusion les trous noirs en orbite et émettant déjà des ondes gravitationnelles. Débarrassée de toutes les complications électromagnétiques, neutriniques... l'astronomie gravitationnelle sera tellement précise qu'elle pourrait prédire à l'heure près, plusieurs années à l'avance, le moment de la fusion!

## Il y a beaucoup plus de fusions de trous noirs, et donc de trous noirs, qu'on ne le pensait

**Revenons à la matière noire, cette autre entité obscure de l'Univers. Pouvez-vous nous rappeler d'où vient cette idée ?**

**Jean-Pierre Luminet :** Rappelons pour commencer que le modèle standard de la cosmologie est noté  $\Lambda$ CDM. Son écriture même met en avant deux problèmes! Le  $\Lambda$  est associé à celui de l'énergie sombre, nous y reviendrons, tandis que CDM renvoie à la matière noire, car ces lettres signifient *cold dark matter*, soit «matière noire froide». Ce modèle n'est pas forcément le bon, mais il est celui qui, pour l'instant et vraiment de loin, explique le maximum d'observations.

L'idée de matière noire est née des observations de Fritz Zwicky en 1933. Dans l'amas de Coma, il a constaté que les vitesses de dispersion des galaxies étaient bien trop élevées par rapport à ce que laissait supposer la matière visible. Il devait donc y avoir une «masse manquante», une matière noire. C'est un principe très général! La détection de tout ce qui est noir a procédé de la même façon, par des détectations indirectes. Ce fut aussi le cas pour Neptune, découverte à partir des perturbations d'Uranus.

Puis dans les années 1950, des astrophysiciens se sont intéressés aux courbes de rotation des galaxies spirales. En s'en tenant à la seule matière visible, les vitesses des étoiles au sein d'une galaxie devraient décroître à mesure qu'on s'éloigne du centre. Ce n'est pas le cas! Les vitesses atteignent en fait un plateau. Pour l'expliquer, on a imaginé là aussi une «matière noire» qui dans un vaste halo sphérique autour de la galaxie et y change le potentiel gravitationnel.

Ces deux arguments expérimentaux, déjà assez forts, laissaient soupçonner qu'il y avait au moins de l'ordre de dix fois plus de matière noire que de matière visible. On pensait néanmoins à une matière noire ordinaire, dite «baryonique», semblable à celle qui constitue justement la matière lumineuse. ➤