



Le détecteur Virgo, près de Pise, collabore avec les interféromètres Ligo, aux États-Unis. Ils traquent des ondes gravitationnelles émises par la coalescence de trous noirs ou d'étoiles à neutrons.

Ligo et Virgo pourraient détecter des échos gravitationnels

> rayonnement gravitationnel émane de cette région proche de l'horizon.

Une exception possible est celle des « échos » gravitationnels. En 2016, Vitor Cardoso, de l'université de Lisbonne, et ses collègues ont suggéré que si deux vestiges se combinent pour former un vestige final qui, pendant un temps très court, vibre avant de se stabiliser, les ondes gravitationnelles émises lors de cette phase de transition peuvent se réfléchir sur la surface du vestige, et cette réverbération (les échos) serait observable comme un motif qui se répète de façon atténuée dans les détecteurs d'ondes gravitationnelles. En octobre 2020, la collaboration *Ligo-Virgo* a publié un catalogue enrichi de 39 détections de fusions d'une paire de trous noirs ou d'étoiles à neutrons. Son analyse ne met en évidence aucun écho, ce qui contraint d'autant les scénarios de vestiges.

La plupart de ces scénarios à vestige modifiant la nature de l'horizon seront donc difficiles à écarter sur la base des seules observations. Et,

comme nous l'avons mentionné, d'un point de vue théorique, il reste difficile de comprendre pourquoi ces objets restent stables et ne s'effondrent pas à leur tour pour former des trous noirs. Ce problème est général à tous les scénarios de vestiges massifs, mais il devient encore plus aigu dans la situation d'une collision de deux de ces objets.

Les perspectives sont meilleures pour tester certains des scénarios où de nouvelles interactions apportent des modifications subtiles de la géométrie de l'espace-temps, mais s'étendent très au-delà de l'horizon. Par exemple, dans le scénario « non violent fort », la vibration du halo quantique du trou noir peut dévier la lumière passant à proximité du trou noir. Si ce scénario est correct, le scintillement entraînerait des distorsions des images de l'EHT qui changeraient au cours du temps.

Avec Dimitrios Psaltis, de l'université de l'Arizona, nous avons calculé que ces changements se produiraient sur une durée d'environ une heure pour le trou noir supermassif situé au centre de la Voie lactée. Parce que l'EHT combine des observations sur plusieurs heures et en fait une moyenne, de tels effets seraient sans doute difficiles à voir. Mais les temps caractéristiques des fluctuations pour le trou noir supermassif de M87, qui est mille fois plus gros, seraient plutôt de l'ordre de quelques dizaines de jours. En prolongeant les durées de prises de données de l'EHT (de sept jours dans le projet initial), nous pourrions déceler ces distorsions.

Cette découverte constituerait un indice fantastique pour accéder à la physique quantique des trous noirs. Si, au contraire, ces fluctuations ne sont pas présentes, nous serons aiguillés vers le scénario quantique faible, plus subtil, ou vers quelque chose d'encore plus exotique.

Le scénario «non violent faible» est plus difficile à tester en raison de la petitesse des changements géométriques attendus. Mais des études préliminaires montrent que ce scénario modifierait la façon dont les ondes gravitationnelles sont absorbées ou réfléchies, ce qui produirait peut-être une modification observable des signaux d'ondes gravitationnelles.

Si l'un de ces scénarios est correct, nous en apprendrons davantage non seulement sur ce que sont les trous noirs, mais également sur la nature profonde du monde. Pour l'instant, nous ne savons pas clairement comment caractériser la localisation de l'information en présence de champs gravitationnels. Les avancées récentes en physique quantique suggèrent que l'espace-temps lui-même n'est peut-être pas une composante fondamentale du monde, mais émergerait d'une structure mathématique plus profonde. Des signes de trous noirs quantiques pourraient nous aider à concrétiser cette idée.

Pour en apprendre davantage, il est important d'améliorer à la fois les observations de l'EHT et les mesures d'ondes gravitationnelles. Pour l'EHT, il serait utile de réaliser des observations de durée nettement plus longues, ainsi que des images d'autres cibles, telles que le trou noir au centre de la Voie lactée, deux idées qui sont déjà au programme. Pour les ondes gravitationnelles, de nouveaux interféromètres, au Japon et en Inde, s'ajouteront aux installations existantes en Europe et aux États-Unis, dont on améliore constamment la sensibilité. Parallèlement, les théoriciens travaillent pour affiner leurs modèles, étayer leurs explications et évaluer comment ces scénarios affectent les signaux de l'EHT et des détecteurs d'ondes gravitationnelles.

Quelle que soit la solution du paradoxe de l'information, les trous noirs renferment des indices cruciaux pour tendre vers une théorie quantique de la gravitation et déterminer la nature même de l'espace et du temps. Comme avec les atomes et la mécanique quantique au début du xx^e siècle, une meilleure compréhension des trous noirs a toutes les chances de montrer la voie de la prochaine révolution conceptuelle de la physique. ■

BIBLIOGRAPHIE

S. B. Giddings, **Black holes in the quantum Universe**, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, vol. 377, 20190029, 2019.

D. Harlow, **Jerusalem lectures on black holes and quantum information**, *Reviews of Modern Physics*, vol. 88, 015002, 2016.

J. Polchinski, **L'horizon des trous noirs brûle-t-il ?**, *Pour la Science*, n° 456, octobre 2015.

S. W. Hawking, **Particle creation by black holes**, *Communications in Mathematical Physics*, vol. 43(3), pp. 199-220, 1975.

**changement climatique :
quel impact sur
la diffusion des maladies
infectieuses ?**

table ronde
accès gratuit sur réservation obligatoire

— jeudi 3 décembre à 18h30

cité
sciences
et industrie

AVEC LE SOUTIEN DE **SCIENTES AVENIR** **La Recherche** **SCIENCE**

Déséquilibre des écosystèmes,
multiplication de moustiques vecteurs
de dengue, chikungunya, zika...

Quel est le rôle du changement climatique
dans l'apparition des maladies infectieuses
et la propagation des épidémies ?
Comment l'Europe et l'Afrique de l'Ouest
s'organisent pour mieux les anticiper ?

Séance co-organisée avec l'Institut
de recherche et développement (IRD)
et l'Institut national de la santé
et de la recherche médicale (Inserm),
à Paris et en duplex avec les équipes locales
de l'IRD en Côte d'Ivoire.



Informations sur cite-sciences.fr