



LE TROU NOIR AU CENTRE DE LA VOIE LACTÉE, Sagittarius A*, est visible de façon indirecte grâce au rayonnement émis par la matière qui s'échauffe en tombant dedans (en bleu), et observé par le télescope *Chandra*. Est-il relié à une autre région de l'Univers par un trou de ver ?

© NASA/CXC/Caltech/M. Muno et al.

pâte à pain que l'on étirerait. Les horizons des trous noirs finissent alors par se séparer. En fait, ils s'écartent tellement vite qu'il est impossible d'utiliser un trou de ver de ce type pour voyager d'un extérieur à l'autre. Dit autrement, le pont s'écroule avant que nous puissions le traverser.

Les trous de ver à la Einstein-Rosen diffèrent donc en partie de ceux que l'on rencontre parfois dans la science-fiction, comme dans le film *Interstellar* de Christopher Nolan, car ils ne sont pas « traversables ». S'ils ne sont pas qu'une curiosité mathématique, on pourrait néanmoins les inclure dans le scénario d'une œuvre de science-fiction de la façon suivante : pour séparer Roméo et Juliette, les familles des deux amants les envoient dans deux galaxies éloignées, en leur interdisant de voyager. Mais les tourtereaux, très doués en physique, réussissent à se construire un trou de ver. De l'extérieur, le trou de ver semble n'être qu'une paire de trous noirs, l'un dans la galaxie de Roméo, l'autre dans celle de Juliette. Les amants se jettent alors à l'intérieur de leur trou noir respectif. Aux yeux de leurs familles, ils se sont simplement suicidés et on n'a jamais plus entendu parler d'eux. Mais la géométrie du trou de ver est telle que Roméo et Juliette se sont en réalité retrouvés

dans l'intérieur partagé, à l'insu du monde extérieur ! Et ils y vivent heureux ensemble pendant un petit moment, avant que le pont ne s'écroule, détruisant l'intérieur et les tuant tous les deux.

Intrication : d'étonnantes corrélations

L'article de 1935 discutant de l'autre phénomène qui nous intéresse, l'intrication quantique, a été écrit par Einstein, Rosen et Boris Podolsky (alors également à l'Institut d'études avancées). Le trio est généralement désigné par ses initiales, EPR. Dans cet article, les trois physiciens tentaient de mettre au jour un problème de la théorie quantique en exposant un phénomène qui semblait violer le principe relativiste selon lequel aucune particule ou information ne peut se propager plus vite que la vitesse de la lumière. Or dans le phénomène présenté par le trio EPR et qu'on nommera plus tard « intrication », deux objets physiques présentent d'étranges corrélations, même s'ils sont distants au point qu'aucun signal physique n'a le temps de se propager de l'un à l'autre au cours de la durée qui sépare les mesures effectuées sur chacun d'entre eux.

Des corrélations, il en existe aussi en physique classique. Imaginez par exemple que vous quittiez la maison muni d'un seul gant parce que vous avez oublié l'autre chez vous. Avant de fouiller votre poche, vous ne savez pas si vous avez emporté le gant gauche ou le droit. Mais une fois que vous avez vu que c'est le gant droit, vous savez immédiatement que c'est le gauche qui est resté à la maison.

Cependant, l'intrication quantique est bien plus intéressante et intrigante. Considérons par exemple les corrélations portant sur la polarisation des photons qui, lorsqu'on la mesure, est soit « horizontale », soit « verticale ». De façon générale, l'état de polarisation d'un photon est, sur le plan mathématique, une combinaison linéaire (une somme pondérée) de ces deux états observables de base. Mais quand on mesure la polarisation, cette superposition d'états disparaît : l'orientation mesurée est soit verticale, avec une certaine probabilité (qui dépend de l'état initial), soit horizontale, avec la probabilité complémentaire.

Maintenant, il est possible de préparer une paire de photons A et B dans un état quantique particulier, dit intriqué, où la polarisation mesurée pour l'un des photons, que le résultat soit « verticale » ou « horizontale », est toujours orthogonale à celle mesurée pour l'autre photon. Le système global a ici un état bien défini (on sait qu'il contient deux photons de polarisations orthogonales), mais on ne peut rien dire sur ceux des particules individuelles avant d'effectuer la mesure.

Une expérience consisterait à produire des paires de photons intriqués A et B qui partent dans des directions opposées et s'éloignent. Supposons qu'à un instant donné, on mesure la polarisation de A ; si le résultat est « verticale », une mesure de la polarisation de B donnera à coup sûr « horizontale », même si aucun signal physique n'a pu aller d'un photon à l'autre dans le laps de temps qui sépare les deux mesures. Ainsi, les deux particules semblent communiquer au moment de la mesure pour s'accorder instantanément sur leurs polarisations respectives, en violation des lois de la relativité. C'est le fameux paradoxe EPR.

Pour le résoudre, Einstein, Podolsky et Rosen suggéraient que la formulation de la théorie quantique était incomplète et qu'il existait des variables cachées donnant cette impression de communication sans lien physique entre les deux photons. Le physicien danois Niels Bohr a répondu à