Le bruit et la fureur de l'univers sont à portée d'oreille

*« Le ciel ne sera plus jamais le même*, déclare dans *Scientific American* [le physicien Szabolcs Marka, membre de l’équipe Ligo à l’université Columbia](http://www.scientificamerican.com/article/the-future-of-gravitational-wave-astronomy/). *Imaginez que vous puissiez toucher, sentir, goûter, voir, et qu’un jour vous vous mettiez à entendre. C’est ce qui est arrivé à l’humanité. Ce jour est glorieux. À partir d’aujourd’hui, nous pouvons entendre le cosmos. Nous pouvons voir l’invisible. »*

*Image de simulation de la fusion de deux trous noirs. © the Simulating eXtreme Spacetimes (SXS) project*

L’enthousiasme de Szabolcs Marka est à la hauteur de l’événement que constitue [la première détection d’ondes gravitationnelles par l’observatoire Ligo](http://www.scientificamerican.com/article/the-future-of-gravitational-wave-astronomy/) (*Laser interferometer gravitational-wave observatory*) annoncée le 11 février 2016 ([voir notre article](https://www.mediapart.fr/journal/international/110216/nous-avons-detecte-des-ondes-gravitationnelles-einstein-avait-raison)). Ligo a mesuré une infime déformation de l’espace, provoquée par la fusion de deux trous noirs il y a plus d’un milliard d’années ([visiter le site Ligo](https://www.ligo.caltech.edu/news/ligo20160211)). La déformation a été produite par une onde gravitationnelle, conforme aux prédictions de la théorie de la relativité générale formulée par Albert Einstein en 1915-1916. Mais l’effet à distance d’une telle onde est si faible qu’Einstein lui-même ne pensait pas que l’on réussirait un jour à le détecter.

L’exploit de Ligo marque le début d’une ère nouvelle, celle de l’astronomie gravitationnelle. Jusqu’ici, l’observation astronomique reposait sur la réception de la lumière et des autres ondes électromagnétiques émises par les astres. Au XVIe siècle, la lunette de Galilée a révélé la nature de la Voie lactée, les amas d’étoiles, les satellites de Jupiter. Pendant le dernier demi-siècle, l’observation a pu être poussée beaucoup plus loin grâce aux progrès des télescopes optiques et des instruments permettant de capter les ondes radio, ou les rayonnements infrarouge, ultraviolet, X et gamma. Ces progrès ont permis des découvertes majeures comme celle des quasars, des pulsars ou du « rayonnement fossile » issu du big bang.

Une nouvelle fenêtre sur le cosmos s’ouvre avec Ligo, ses équivalents [Virgo](https://fr.wikipedia.org/wiki/Virgo_(interf%C3%A9rom%C3%A8tre)) à Pise et [Geo600](https://en.wikipedia.org/wiki/GEO600) à Hanovre, ainsi que le projet de l’Agence spatiale européenne [eLisa](https://fr.wikipedia.org/wiki/Evolved_Laser_Interferometer_Space_Antenna), qui devrait être, en 2034, le premier observatoire d’ondes gravitationnelles depuis l’espace. L’écoute des ondes gravitationnelles va donner accès à des phénomènes que l’on ne peut pas étudier à partir du seul rayonnement électromagnétique : étoiles à neutrons, trous noirs, matière sombre, traces de l’inflation cosmique et du big bang…, voire d’objets complètement inédits que la théorie n’a pas anticipés.

**• UN POSTE D'ÉCOUTE DES ÉVÉNEMENTS LES PLUS DRAMATIQUES DE L'UNIVERS**

*« Dans un sens très réel, les détecteurs d’ondes gravitationnelles vont écouter les sons d’un univers agité*, écrivent les physiciens Bangalore Sathyaprakash et Bernard Schutz dans un long article de *Living Reviews in relativity. La “fenêtre” des ondes gravitationnelles sera réellement un poste d’écoute, un écran de contrôle des événements les plus dramatiques qui se produisent dans l’univers. »*

Pourquoi les plus dramatiques ? En théorie, un enfant qui lance un ballon produit une onde gravitationnelle. Mais aucun instrument connu ne serait capable de la capter. La gravitation, selon la théorie de la relativité générale, n’est pas une force, mais une déformation de l’espace-temps. Tout objet massif produit une courbure de l’espace-temps. Pour Einstein, si la Terre est attirée par le Soleil, ce n’est pas parce que celui-ci exerce une force d’attraction comme l’a supposé Newton, mais parce que l’astre du jour courbe l’espace-temps autour de lui. Toujours selon Einstein, si une grande masse est « secouée », autrement dit si elle subit une accélération brutale, la déformation de l’espace-temps va aussi se déplacer. D’où une onde qui se propage en s’éloignant de la grosse masse à la vitesse de la lumière, et qui étire et compresse l’espace-temps sur son passage.

Image montrant la courbure de l'espace-temps produite par un objet massif. © T. Pyle/Caltech/MIT/LIGO Lab

Le seul problème, c’est que l’effet est si ténu que seul un événement cataclysmique produit des ondes gravitationnelles détectables. Pour se rendre compte de l’échelle des phénomènes concernés, il suffit de penser que les deux trous noirs dont la collision a été observée par Ligo avaient environ trente fois la masse du Soleil ; en fusionnant, ils ont dégagé en un instant une fantastique quantité d’énergie, invisible mais équivalente à plus de dix fois la puissance lumineuse de la totalité de l’univers visible. Pourtant, l’onde gravitationnelle parvenue sur Terre, depuis la galaxie distante où l’événement s’est produit, il y a 1,3 milliard d’années, n’a provoqué qu’une minuscule déformation de l’espace, d’une ampleur de l’ordre d’un dix-millième du diamètre d’un proton.

Animation montrant le son de la collision de deux trous noirs détectée par Ligo © Caltech/MIT/LIGO Lab

Ce fait illustre l’extrême sensibilité de l’instrument, mais montre aussi pourquoi l’astronomie gravitationnelle ne ressemblera pas à celle que l’on connaissait jusqu’ici. [Elle va apporter des observations complètement différentes et complémentaires](http://relativity.livingreviews.org/Articles/lrr-2009-2/) de celles que donnent la lumière et les rayonnements électromagnétiques. Les télescopes montrent des phénomènes issus de sources bien localisées, situées dans des régions relativement petites de l’espace. À l’inverse, les ondes gravitationnelles détectables sont produites par de grands systèmes et transmettent des informations relatives à de vastes régions du cosmos.

De plus, les ondes électromagnétiques sont faciles à détecter mais peuvent être facilement arrêtées ou déviées par un obstacle matériel situé entre la source et l’observatoire. Au contraire*,* les ondes gravitationnelles n’interagissent pas, ou très faiblement, avec la matière. Cela les rend très difficiles à détecter, mais leur permet de nous parvenir sans être affectées depuis les confins de l’espace-temps, et même depuis les premiers instants suivant le big bang.

Schutz et Sathyaprakash comparent les détecteurs d’ondes gravitationnelles à des micros omnidirectionnels qui captent le son quelle que soit sa provenance, plutôt qu’à des télescopes que l’on dirige vers une cible. Les fréquences captées par Ligo sont d’ailleurs dans le registre des fréquences sonores, ce qui permet de traduire les signaux gravitationnels en sons (voir ci-dessus).

La nouvelle fenêtre de l’astronomie gravitationnelle est beaucoup plus large que celle de l’astronomie basée sur les ondes électromagnétiques. Ces dernières sont émises par des particules chargées, principalement des électrons. Or, l’univers est constitué à plus de 95 % de « masse énergie » sans charge, ce qui veut dire que nous ne voyons, avec les télescopes, qu’une petite minorité des phénomènes cosmiques. Les ondes gravitationnelles vont permettre, à défaut de voir, d’entendre le bruit et la fureur de l’univers.