

## **Deuxième détection d'une onde gravitationnelle en trois mois !**

Tous les médias (et nous-mêmes) avaient annoncé le 11 février la première détection directe d'une onde gravitationnelle, observée le 15 septembre 2015, dès la mise en service des deux détecteurs de Ligo situés en Amérique du Nord. Elle était surprenante à plusieurs titres : elle survenait très rapidement, elle était très puissante, et il s'agissait de la fusion de deux trous noirs particulièrement massifs - une trentaine de masses solaires chacun - beaucoup plus massifs que ce que l'on attend normalement de l'effondrement d'une étoile en fin de vie. On espérait donc d'autres détections imminentes. Or les membres des collaborations Ligo et Virgo situé en Italie avaient déjà à ce moment commencé à analyser un autre signal, détecté le 26 décembre 2015. Il s'agit bien d'une onde gravitationnelle produite par la fusion de deux trous noirs. Appelée GW151226 (GW ou Gravitational Wave et 151226 pour la date de détection), la source de ce signal se situe à 1,4 milliard d'années-lumière de la Terre. Il est plus faible que celui de GW150914 car il provient d'un système binaire dont les deux trous noirs pèsent seulement 8 et 14 masses solaires.

On guette donc avec impatience la troisième détection, et naturellement les suivantes qui ne vont pas manquer, pour en tirer des conclusions sur la fréquence de fusion des trous noirs.

## **Un désaccord bizarre entre deux déterminations de la constante de Hubble**

**De récentes mesures de la constante de Hubble dans l'environnement proche effectuées à l'aide du télescope Hubble montrent un désaccord avec celles concernant l'Univers lointain obtenues par l'analyse des données du satellite Planck : l'Univers aurait une expansion 5% à 9% plus rapide qu'on le pensait. Il ne s'agit pas d'une grande différence, mais il faut tout de même l'expliquer.**

Pour déterminer les distances dans l'univers proche et son taux d'expansion (la « constante » de Hubble  $H_0$ ) on utilise deux étalons de mesure : d'une part la relation entre la période de pulsation et la luminosité des Céphéïdes, et d'autre part la luminosité des supernovae de type Ia (SN Ia) après leur explosion. Pour l'Univers lointain, c'est à dire jeune, la valeur de  $H_0$  est déduite des fluctuations du fond diffus cosmologique observé dans le domaine micro-onde (CMB pour Cosmic Microwave Background), émis 380 000 ans après le Big Bang. Il est évidemment souhaitable que les deux valeurs coïncident !

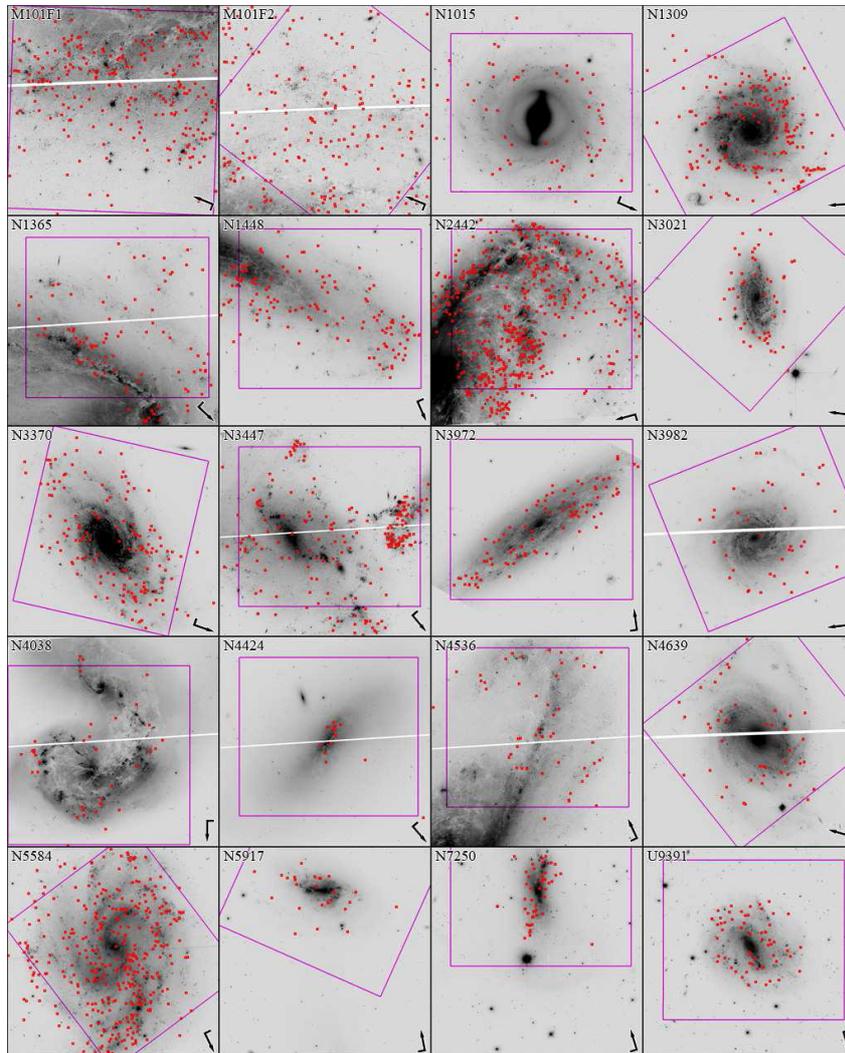
Un article récent (arXiv:1606.06736, Kara et al. Nature 2016) publié par une équipe essentiellement nord-américaine et comprenant Adam Riess, prix Nobel 2011 pour la découverte de l'accélération de l'expansion par la méthode des supernovae, publie les résultats d'une étude effectuée avec la caméra infrarouge NICMOS du télescope spatial Hubble. L'idée est d'observer un ensemble de Céphéïdes situées dans les galaxies hôtes de supernovae de type Ia. L'observation des deux types d'objets permet d'améliorer les déterminations de distance, entre autres grâce à une meilleure connaissance du rougissement et de l'abondance des éléments. Un grand relevé appelé SHOES (Supernovae,  $H_0$ , for the Equation of State<sup>1</sup>) a ainsi donné des résultats provenant de 2400 Céphéïdes et 300 SN Ia situées dans les mêmes galaxies. La constante de Hubble déterminée par cette étude est trouvée égale à  $73.24 \pm 1.74$  km par seconde et par mégaparsec, alors que la valeur donnée par l'analyse des résultats du fond diffus observé par le satellite Planck est de  $66.93 \pm 0.62$  km par seconde et par mégaparsec.

Ces deux valeurs sont donc incompatibles, du moins si l'on suppose que le grand écart statistique entre les deux mesures (plus de 3 sigmas, pour les connaisseurs) n'est pas dû simplement au hasard. Il peut y avoir plusieurs explications. L'une est qu'il existerait dans l'Univers jeune une source supplémentaire inconnue d'énergie noire, ou bien la présence de particules relativistes inconnues. On peut également supposer qu'il y aurait des erreurs systématiques non détectées dans la mesure locale ou dans celle du fond cosmologique. Enfin, il reste la possibilité d'une physique nouvelle non standard... Rien ne peut être exclu pour le moment et l'on attend avec impatience les améliorations de la détermination de  $H_0$  à venir, grâce à de nouvelles mesures de parallaxes des Céphéïdes. Bref, il reste beaucoup à faire avant de pouvoir comprendre la signification de ces nouveaux résultats, qui nous disent entre autres qu'il ne faut pas prendre au pied de la lettre les précisions affichées pour chaque résultat, car les erreurs systématiques sont souvent sous-estimées.

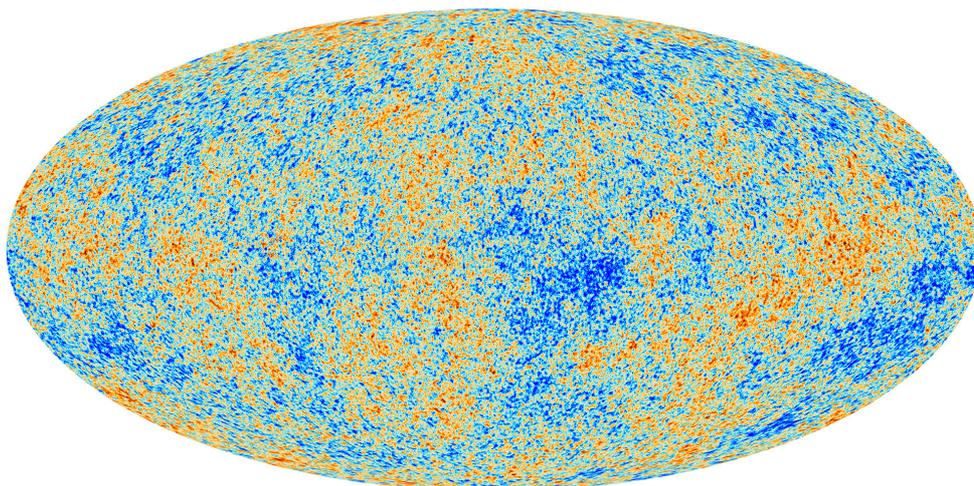
---

<sup>1</sup> Il s'agit de l'équation d'état de l'énergie noire, donnant sa variation en fonction du temps.

**Images des galaxies hôtes des Céphéides. L'encadrement magenta montre le champ de vue de la caméra WFC3/IR de 2,7 minutes de côté. Les points rouges indiquent les positions des Céphéides. Crédit Kara et al., arXiv:1606.06736.**



**La classique image obtenue par le satellite Planck, qui a permis de déterminer plusieurs paramètres de l'Univers, dont la constante de Hubble. Crédit collaboration Planck.**



## Une étoile en train d'être avalée par un trou noir

**Le cœur de toutes les galaxies massives cache un trou noir supermassif qui peut devenir lumineux lorsqu'il dispose de gaz dans son environnement. Mais c'est le cas seulement pour 10 pourcents des trous noirs supermassifs, les 90 autres pourcents étant invisibles. Un moyen pour les étudier est d'observer les flashes de rayons X produits par une étoile en train d'être avalée par le trou noir.**

Lorsqu'une étoile s'approche trop près d'un trou noir, elle subit un effet semblable aux marées terrestres : le côté faisant face au trou noir ressent une attraction gravitationnelle bien plus élevée que l'autre côté, et l'étoile se brise. Une partie de son gaz s'échappe vers l'extérieur, tandis que l'autre partie se dirige vers le trou noir en formant un « disque d'accrétion » et en rayonnant une grande partie de son énergie, avant de disparaître définitivement à l'intérieur. Quelques uns de ces événements ont été observés au cours des années précédentes, mais on n'avait jusqu'à maintenant pas étudié la structure de ce disque au voisinage immédiat du trou noir.

Utilisant les archives du satellite Swift de la NASA, quatre chercheurs américains ont étudié l'un de ces trous noirs dormants émettant des flashes de rayons X. Leur article (Erin Kara et al., arXiv:1606.06736) vient d'être publié dans la revue Nature. Il concerne la source Swift J1644+57 détectée le 28 March 2011. Des observations ultérieures en radio, optique et infrarouge, ont révélé que la source était située au centre d'une galaxie compacte distante d'environ quatre milliards d'années-lumière (redshift : 0,3534). Après être passée par un maximum, la luminosité X a décliné rapidement, ce qui a permis de conclure qu'elle était produite par la rupture d'une étoile au voisinage du trou noir. Au moment du maximum, elle a atteint une puissance gigantesque, égale à cent mille fois celle d'une galaxie toute entière. Cependant cette valeur est obtenue en supposant que le rayonnement était émis avec la même intensité dans toutes les directions, ce qui n'est probablement pas le cas : il est sans doute émis dans une direction proche de la ligne de visée, et la puissance réelle est plus faible. On pense naturellement à une accrétion très violente de gaz, dépassant la limite permise appelée « limite d'Eddington », et nécessitant d'éliminer une partie de l'énergie sous forme d'un jet relativiste pointant dans notre direction (effet « d'aberration relativiste »).

Les auteurs de l'article ont eu l'idée d'exploiter une technique normalement utilisée dans un autre contexte, celle de la « cartographie par réverbération » qui sert normalement à étudier la région émettant les raies optiques des quasars. En effet, lorsqu'une source de rayonnement central illumine une région plus éloignée du trou noir, le temps que met la région à répondre à ces variations est fonction de sa distance à la source. Le même type d'effet peut s'appliquer au rayonnement X, qui présente une raie spectrale du Fer vers 6 keV. Les chercheurs ont donc examiné le délai entre l'émission X dans deux bandes de fréquences, provenant de deux régions dont l'une (la raie du Fer) est illuminée par l'autre, plus centrale. Ils ont effectivement mesuré un petit décalage. Pour le moment cette mesure est trop imprécise pour permettre de déterminer la structure de la source X, et il faudra attendre d'autres études similaires pour obtenir des résultats. Mais il est probable que la méthode pourra être utilisée avec succès grâce à toutes les archives de données en provenance des satellites X.

Courbes de lumière de Swift J1644+57 obtenue par le satellite XMM-dans la bande 4–6 keV contenant le raie du Fer en rouge et dans la bande 6–10 keV en bleu, illustrant le décalage temporel entre les deux courbes. Une analyse détaillée par transformée de Fourier permet d’obtenir la valeur du décalage.

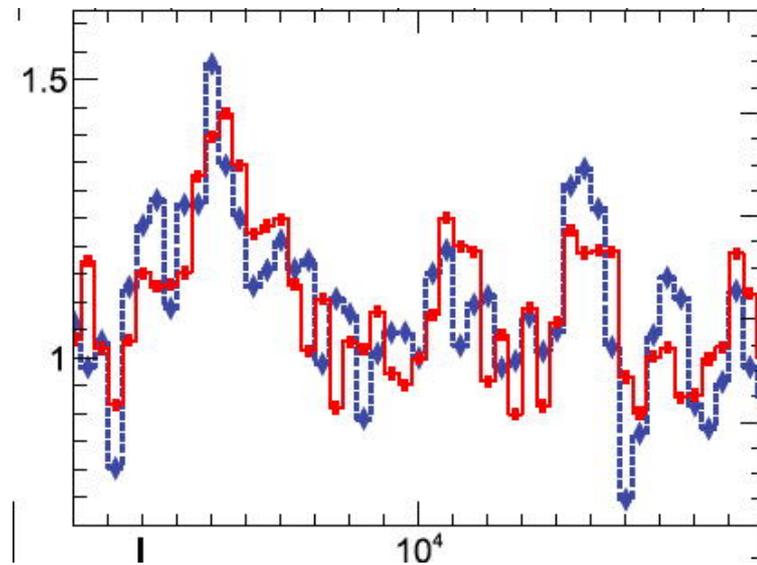
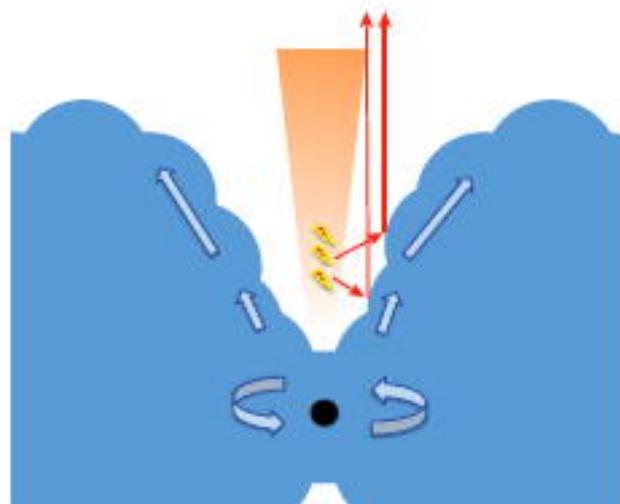


Schéma de la réverbération provenant d’une accrétion super-Eddington. Le disque d’accrétion, montré par la tranche, est très épais (en bleu) et émet un jet relativiste (en rouge). Un décalage temporel est produit entre la source de rayonnement entre 6 et 10 keV et la raie spectrale du Fer entre 4 et 6 keV.



## Encore un succès de « la science citoyenne »

**Nous avons parlé à plusieurs reprises dans ces actualités des « Galaxy zoo », ces projets astronomiques en ligne proposant aux internautes de collaborer au classement de millions de galaxies. Plusieurs découvertes intéressantes ont été réalisées dans le cadre de ce projet (comme celle de « l'objet de Hanny », mentionné plusieurs fois dans ces actualités), et ont initié des publications scientifiques dont des volontaires ont été signataires.**

L'un des projets, appelé le « radio galaxy zoo », auquel participent plus de 10000 volontaires, consiste à classer 1,6 millions d'images obtenues avec le télescope infrarouge de la NASA WISE (Wide-Field Infrared Survey Explorer) et avec l'observatoire radio NRAO au Nouveau Mexique, USA. Deux volontaires ont ainsi découvert un étrange amas de galaxies auquel leur nom a été donné. Ils ont en effet pu reconstituer à partir de plusieurs cartes radio une immense structure en forme de C. Un article publié par une équipe essentiellement australienne vient de paraître dans les Monthly Notices of The Royal Society (ArXiv:1606.05016v2, J.K. Banfield et al.) décrit cette galaxie comme ayant une queue de largeur 2,5 millions d'années-lumière s'étendant sur 4 millions d'années-lumière (tout ceci en projection sur le ciel, bien entendu). La galaxie a un redshift de 0.0897, ce qui signifie qu'elle est distante d'environ 1,2 milliards d'années-lumière. Ces propriétés sont celles d'une galaxie radio « à queue large » (WAT, comme Wide Angle Tail), typique de celles que l'on trouve dans les amas de galaxies « pauvres ». Celui-ci, que l'on a nommé RGZ-CL J0823.2+0333, n'était pas connu avant la découverte de la radio-galaxie. Celle-ci se déplace avec une grande vitesse dans l'amas (ce qui explique la courbure de la queue) et la queue a été apparemment formée au cours de deux événements d'activité séparés par un million d'années.

**Image composite de l'environnement de l'amas RGZ J082312.9+033301. Le cercle en tirets a un rayon de 3 millions d'années-lumière (soit 10 minutes d'arc). L'image de fond est tirée du relevé SDSS en rouge vert et bleu. Les courbes donnent la densité de flux radio à 1,4 GHz. Les carrés orange indiquent les galaxies qui ont un redshift entre 0,08 et 0,09 mesuré spectroscopiquement, et les cercles rouges indiquent celles qui ont un redshift compris entre 0,05 et 0,12 mesuré photométriquement. Crédit Banfield et al. ArXiv:1606.05016v2.**

