

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

P.18 Livres du mois

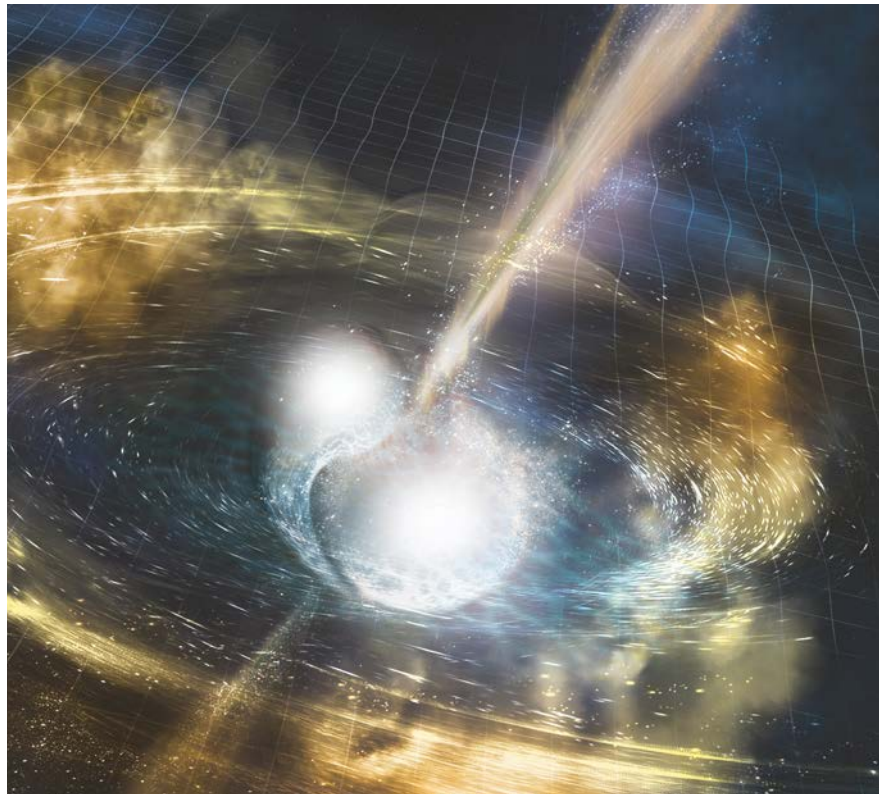
P.22 Agenda

P.24 *Homo sapiens informaticus*

P.26 Cabinet de curiosités
sociologiques

ASTROPHYSIQUE

LA FUSION DE DEUX ÉTOILES À NEUTRONS A FAIT VIBRER LIGO ET VIRGO



Vue d'artiste de la coalescence de deux étoiles à neutrons avec l'émission d'ondes gravitationnelles et de rayonnement électromagnétique.

Cette source d'ondes gravitationnelles a la particularité d'émettre aussi de la lumière. Un événement que près de 70 observatoires et télescopes ont constaté et étudié.

Le 17 août 2017, les interféromètres laser géants *Ligo* et *Virgo* ont de nouveau détecté des ondes gravitationnelles. L'analyse de ces ondes montre que, contrairement aux précédentes fois, elles ont été émises par la fusion de deux étoiles à neutrons et non de deux trous noirs. Cela a enthousiasmé l'ensemble de la communauté des astrophysiciens, car, en plus d'émettre des ondes gravitationnelles, la coalescence de deux étoiles à neutrons s'accompagne d'importantes émissions électromagnétiques – que de nombreux observatoires

au sol ou dans l'espace ont observées. Pour Laura Cadonati, porte-parole de la collaboration *Ligo*, l'événement, noté GW170817, a été « l'un des événements astrophysiques les plus étudiés à ce jour ». Et les découvertes qui accompagnent cette observation unique en son genre sont déjà nombreuses.

Que s'est-il passé exactement le 17 août 2017, à 14h41 (heure de Paris)? Le programme d'analyse en temps réel des données de *Ligo* a détecté un fort signal d'onde gravitationnelle sur l'un de ses deux interféromètres. À peine 2 secondes plus tard, l'observatoire spatial *Fermi* a

enregistré un sursaut gamma, une bouffée intense de rayonnement électromagnétique de haute énergie. Pendant ce temps, les logiciels d'analyse ont confirmé la présence de l'onde gravitationnelle dans les données des deux interféromètres de *Ligo* et de celui de *Virgo*. Du fait de la simultanéité des divers signaux, il est quasi certain qu'ils provenaient d'une source unique.

Par triangulation, à partir de l'intensité des signaux et le moment exact de leur arrivée sur les trois interféromètres, cette source a été localisée dans une région d'environ 30 degrés carrés (soit environ 120 pleines lunes) dans l'hémisphère Sud, dans la constellation de l'Hydre. Cette information a aussitôt été transmise à près de 70 observatoires et télescopes dans le monde. À peine 12 heures plus tard, l'équipe utilisant le télescope *Swope*, au

Chili, a annoncé avoir identifié la présence d'un nouveau point lumineux – la source des ondes gravitationnelles et du sursaut gamma – dans la galaxie NGC 4993, située à 130 millions d'années-lumière.

Le signal gravitationnel capté a duré près de 100 secondes. Son analyse a établi que les masses des astres impliqués étaient comprises entre 1,1 et 1,6 fois la masse du Soleil, des masses typiques des étoiles à neutrons. Ces dernières sont le stade ultime de l'évolution de certaines étoiles massives qui ont explosé en supernovæ en laissant un cœur dense. Ce cœur, l'étoile à neutrons, a un diamètre d'environ 20 kilomètres et il est si dense qu'un dé à coudre de sa matière pèse de l'ordre du milliard de tonnes.

La contrepartie électromagnétique du signal gravitationnel a fourni de nombreuses informations intéressantes et confirme certains modèles. Par exemple, le sursaut gamma observé par *Fermi* est classé comme sursaut court (car il a duré moins de 2 secondes). Or les astrophysiciens suspectaient qu'une partie des sursauts courts étaient produits par la coalescence de paires d'étoiles à neutrons. L'événement GW170817 leur donne raison.

Un autre résultat important porte sur la matière expulsée au moment de la fusion des deux astres. Cette matière initialement très chaude s'est vite refroidie en émettant de la lumière dans différentes longueurs d'onde. On parle de kilonova; ce phénomène, que l'on avait prédit théoriquement, est donc désormais observé.

Par ailleurs, d'après les modèles, la coalescence de deux étoiles à neutrons est le siège de réactions nucléaires qui conduisent à la synthèse d'éléments plus lourds que le fer. Or parmi les nombreux observatoires qui ont scruté le rayonnement de GW170817 pendant les heures, les jours, voire les semaines qui ont suivi la fusion, l'observatoire américain *Gemini*, le VLT européen et le télescope spatial *Hubble* ont détecté dans l'infrarouge des indices de production de plomb, d'or et de platine. On aurait ainsi observé pour la première fois ce qui est probablement l'un des principaux processus de production d'éléments lourds dans l'Univers.

On le voit: l'«astronomie multimessagers», qui combine ondes gravitationnelles et ondes électromagnétiques, tient ses promesses! ■

SEAN BAILLY

B. P. Abbott et al., *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 848, n° 2, 2017

Un recensement d'insectes inquiétant

En moins de trente ans, les populations d'insectes volants ont subi une baisse de 75 % de leur biomasse. Cette estimation est le fruit d'une étude de longue durée réalisée en Allemagne à partir de captures d'insectes dans des zones protégées. Jean-François Silvain revient sur les causes et les impacts de ce résultat alarmant.



Propos recueillis par DONOVAN THIEBAUD

JEAN-FRANÇOIS SILVAIN
chercheur à l'IRD et
président de la Fondation
pour la recherche
sur la biodiversité

Comment Caspar Hallmann et ses collègues ont-ils réalisé ce recensement ?

L'étude repose sur une méthode simple. Elle consiste en l'usage de pièges d'interception non sélectifs, ou « tentes Malaise » (du nom de leur inventeur, René Malaise), installés depuis 27 ans dans 63 zones protégées en Allemagne. Les chercheurs ont collecté des insectes et estimé l'évolution de ces populations.

Plusieurs aspects sont intéressants dans cette étude. Sa durée, tout d'abord, mais aussi son caractère non sélectif qui est assez rare. De plus, les prélèvements ont été réalisés dans des zones protégées, relativement préservées de l'urbanisation. Les chercheurs ont ainsi constaté une diminution de plus de 75 % de la biomasse des insectes volants.

Les causes de cette baisse sont-elles identifiées ?

Les chercheurs ont considéré divers facteurs dont ils ont estimé l'influence dans cette perte de biomasse. Par exemple, les effets liés au réchauffement climatique ne semblent pas intervenir. Par ailleurs, en réalisant leur étude dans des zones protégées, l'équipe a écarté deux autres hypothèses souvent avancées pour expliquer la disparition des insectes : les changements paysagers dus à l'activité humaine – une forêt transformée en zone agricole par exemple – et les pratiques agricoles qui conduisent à un déclin de la biodiversité végétale.

En revanche, ils n'excluent pas la piste des pesticides. En effet, ces produits passent très facilement des zones cultivées aux zones protégées. Cette hypothèse rejoint de nombreux travaux actuels portant sur l'influence de ces pesticides, en particulier des néonicotinoïdes, sur la biodiversité. Mais ces études se focalisent en général sur des espèces particulières, inconvénient que ne présente pas l'étude allemande.

Les résultats de cette étude, qui a eu lieu en Allemagne, sont-ils généralisables ?

Dans la publication, les chercheurs citent l'exemple d'une étude anglaise de 2009 assez similaire. Les résultats montrent une baisse drastique des populations d'insectes sur un site où l'activité agricole a été intensifiée. Il n'y a pas de raisons de penser que les conclusions valables en Allemagne et en Angleterre ne le seraient pas en France et plus globalement en Europe occidentale et en Amérique du Nord. Dans tous ces pays, l'agriculture est intensive et utilise massivement des pesticides. Un exemple simple pour constater cette diminution des insectes est le « phénomène du pare-brise ». Partout en Europe de l'Ouest, dans les années 1990, vous ne pouviez pas rouler à pleine vitesse plus de 200 kilomètres sans avoir à laver votre pare-brise, en raison des impacts d'insectes. Tout le monde peut constater que ce n'est plus le cas aujourd'hui.

Quelles sont les conséquences ?

Cette diminution de la biomasse d'insectes retire un socle majeur à l'échelle trophique. De nombreux oiseaux se nourrissent d'insectes et on compte aussi beaucoup de mammifères insectivores. Il faut donc s'attendre à des phénomènes en cascade conduisant à des chutes de population dans toutes les chaînes trophiques. Deuxième conséquence, de nombreuses fonctionnalités écologiques sont assurées par des insectes. La pollinisation en est un exemple. On a beaucoup parlé de la baisse du nombre d'abeilles, mais en fait, ce sont tous les pollinisateurs qui sont menacés.

Les risques associés à la perte de la biodiversité ont souvent été négligés, notamment par rapport aux défis que pose directement le changement climatique. Les études récentes sur la baisse de biodiversité des vertébrés et ce nouveau résultat sur les insectes soulignent que la situation est réellement alarmante. ■

C. A. Hallmann et al., *PLoS One*, vol. 12(10), e0185809, 2017

GÉOSCIENCES

LES BACTÉRIES INFLUENT SUR LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

La séquestration du carbone dans les roches basaltiques paraît prometteuse, mais les bactéries vivant dans ces milieux réagissent à l'injection de CO₂.

Une équipe internationale dirigée depuis l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP) par **Bénédicte Ménéz** vient de glisser un grain de carbonate dans les espoirs de séquestration du dioxyde de carbone (CO₂) au sein des basaltes profonds. Les chercheurs ont montré que lorsqu'on y injecte de l'eau saturée en dioxyde de carbone, les bactéries qui vivent dans les eaux de ces aquifères basaltiques réagissent fortement et influencent la fixation du carbone.

Depuis 2007, la séquestration du dioxyde de carbone dans les basaltes est l'objet du projet de recherche international *Carbfix* mené sur des basaltes islandais et soutenu par l'Union européenne. Publiés en 2016, les résultats d'un essai d'injection de 175 tonnes de dioxyde de carbone dans les basaltes d'une coulée de lave sont très encourageants : ils suggèrent qu'en deux ans, la quasi-totalité du carbone injecté s'est minéralisée.

En fonction des évolutions du pH ambiant, les silicates de magnésium, de fer, de calcium et d'autres minéraux formant le basalte réagissent en effet avec le dioxyde de carbone apporté par l'eau injectée pour former des carbonates de fer (sidérite), de calcium (calcite), de magnésium (magnésite), etc. Il semble que la formation de carbonates soit optimale lorsque le pH est assez élevé pour qu'elle ait lieu, mais pas trop pour éviter les formations de zéolithes (des aluminosilicates) et de smectites (des argiles), lesquelles concurrencent les carbonates. Dans les basaltes testés, où la température est basse (20-50°C), le pH optimal se situerait entre 5,2 et 6,5 – point dont il faudrait tenir compte en préparant les eaux d'injection.

Mais à des températures aussi modérées, les aquifères basaltiques contiennent aussi de la vie. C'est pourquoi les géomicrobiologistes de l'IPGP se sont intéressés à ses effets sur la séquestration du dioxyde de carbone. Les chercheurs ont montré que les nombreuses communautés bactériennes des basaltes profonds réagissent fortement et en quelques semaines à l'arrivée d'eaux acidifiées par la dissolution de dioxyde de carbone. Les ions de fer, de magnésium et de calcium et des composés aromatiques contenus dans la matrice siliceuse



Prélevée sur le site d'injection du dioxyde de carbone dans l'aquifère basaltique islandais, cette carotte révèle la présence de minéraux carbonatés à l'intérieur de la roche.

95 %

DU CARBONE INJECTÉ DANS LE BASALTE AURAIT ÉTÉ FIXÉ DANS LA ROCHE SOUS LA FORME DE CARBONATES EN DEUX ANS, ONT CLAMÉ LES AUTEURS DE L'ESSAI CARBFIX EN 2016. TOUTEFOIS, C'ÉTAIT COMPTER SANS LES BACTÉRIES, DONT LES EFFETS RESTENT À PRÉCISER...

constituent en effet autant de nutriments et de sources d'énergie pour les bactéries. Leur libération par l'arrivée d'eau acide entraîne la prolifération de certains types de bactéries. Ainsi, l'équipe de l'IPGP a mis en évidence l'efflorescence de bactéries chimiolithoautotrophes (se nourrissant de minéraux contenus dans la roche) ferroxydantes qui utilisent le CO₂ comme source de carbone et d'autres qui servent pour dégrader les composés aromatiques complexes.

Ces activités microbiennes influent sur le devenir du CO₂ injecté de plusieurs façons : tout d'abord, une partie du carbone est convertie en biomasse au lieu de l'être en carbonate ; ensuite, en oxydant le fer, les bactéries modifient la disponibilité des éléments nécessaires à la formation des carbonates et l'efficacité de la dissolution des silicates, la principale composante des basaltes. Enfin, dans des environnements de basse température où le vivant peut se développer – en clair, partout où la température est inférieure à 120°C –, l'efficacité du stockage minéral pourrait être réduite à long terme. Les chercheurs s'attellent à quantifier cet effet. ■

FRANÇOIS SAVATIER

R. Trias et al., *Nature Communications*, en ligne, 20 octobre 2017