

LES MILLE ET UNE VIES DE DANIEL PAULY

C'est en 1971 que Daniel Pauly, alors étudiant en écologie marine à l'institut océanographique de Kiel, en Allemagne, a découvert l'Afrique. Sa mission : réunir des données sur les pêcheries de la lagune de Sakumo, sur la côte du Ghana. Un jour sur deux, le jeune homme dévore toute la documentation locale disponible. Les autres jours, il arpente à pied la lagune, d'une profondeur moyenne de 50 centimètres. Peu à peu, il visualise toutes les espèces en présence, leurs interactions et le rôle des pêcheries. À l'époque, les pêcheries locales sont artisanales et servent à nourrir

les populations, et, dans son rapport, Daniel Pauly effectue une série de propositions pour les développer.

En 1978, cependant, lors d'une mission d'une autre ampleur aux Philippines, visant cette fois à construire une théorie des pêcheries du Sud-Est asiatique, Daniel Pauly découvre un tout autre paysage, dominé par des pêcheries industrielles tournées vers l'exportation, au détriment des populations locales. Situation qu'il ne manque pas de dénoncer à l'époque. Depuis, il n'a de cesse de révéler l'impact de la surpêche sur les écosystèmes marins et les populations locales, que ce soit en Asie, en Afrique ou en Amérique du Sud. C'est ainsi qu'en 2016, après une décennie passée à confronter tous les documents possibles pour chaque pays côtier du globe – publications, rapports techniques, registres portuaires, archives coloniales, imagerie satellite des infrastructures de pêche –, son équipe, avec l'aide de nombre d'experts locaux,

a obtenu, pour la première fois, une estimation des prises réelles de pêche (quantités et types de poisson) dans le monde de 1950 aux années 2010.

C'est grâce à ces données que Christina Hicks et ses collègues ont pu déterminer quels poissons étaient susceptibles d'apporter quels nutriments aux populations des pays côtiers en développement. Elles ont par ailleurs révélé que les prises globales réelles de pêche étaient bien plus importantes que ne le rapportait la FAO, l'organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (elles ont atteint 130 millions de tonnes en 1996, contre 86 millions de tonnes selon la FAO), et qu'elles déclinaient bien plus vite qu'on ne le pensait, non pas grâce à une meilleure réglementation, mais à cause d'un appauvrissement des ressources...

Et ce n'est qu'un petit aperçu du combat que Daniel Pauly mène depuis toujours, comme le montre David Grémillet, océanographe



et directeur de recherche au CNRS, dans son ouvrage *Daniel Pauly, un océan de combat* (Wildproject, 2019). Né en 1946 d'une ouvrière française et d'un GI afro-américain, le biologiste franco-canadien a vécu mille et une vies dès l'enfance, que David Grémillet a su capter et transmettre avec une passion communicative.

MARIE-NEIGE CORDONNIER

> *Catch* montre comment des femmes sénégalaises fument les sardinelles, les sèchent et les transforment à la main, avant que ces poissons soient transportés par camion vers l'intérieur du pays, où ils sont la source principale abordable de micronutriments et de protéines animales. Le chef des travailleurs interviewé dans ce film explique que ce serait une catastrophe si l'approvisionnement en sardinelles était interrompu.

SOUS L'EMPRISE CHINOISE

Depuis, cette catastrophe redoutée a commencé à se produire. À la grande consternation des populations locales, plus de 40 usines industrielles de transformation de poisson ont été construites, principalement par des entreprises chinoises, le long de la côte du Sénégal et dans les pays voisins. Ces usines transforment la sardinelle et d'autres petits poissons en farine de poisson, un produit pour l'alimentation animale. De nombreuses pêcheries, qui fournissaient traditionnellement les marchés régionaux en sardinelles destinées à la consommation locale, approvisionnent désormais les usines de farine de poisson. Celles-ci exportent leurs produits principalement vers la Chine, le plus grand importateur mondial de farine de

poisson, où elle sert à nourrir les poissons d'élevage.

Les consommateurs avisés font souvent attention à manger du poisson «pêché de façon durable». Ce qualificatif un peu flou recouvre l'idée que ces poissons ont souffert le moins possible et que leurs stocks sont gérés de façon à assurer le maintien des populations. Si ces poissons proviennent d'élevages piscicoles, comme c'est le cas pour la plupart des saumons commercialisés, on considère aussi que c'est une bonne chose, car on pense en général que l'aquaculture réduit la pression sur les populations sauvages. Toutefois, l'exploitation de la sardinelle pour la fabrication de farine de poisson ne réduit pas la pression sur les poissons sauvages. En outre, elle prive les populations des pays en développement de poissons locaux auparavant abordables, et ce pour favoriser la production de poissons d'élevage coûteux, principalement consommés dans les pays riches.

Lorsque nous réfléchissons au poisson que nous devrions manger, puisque le poisson est bon pour nous, il est temps que nous définissions ce que recouvre ce «nous». Le travail de Christina Hicks et de ses collègues montre une voie possible pour prévenir les maladies dues aux carences alimentaires : mettre en regard les problèmes de disponibilité du poisson. ■

BIBLIOGRAPHIE

C. C. Hicks et al., **Harnessing global fisheries to tackle micronutrient deficiencies**, *Nature*, vol. 574, pp. 95-98, 3 octobre 2019.

D. Grémillet, **Daniel Pauly : un océan de combats**, Wildproject, 2019.

D. Pauly et D. Zeller, **Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining**, *Nat. Commun.*, vol. 7, article 10244, 2016.

L'UNIVERS AVANT LE BIG BANG

- 7 dossiers rédigés par des chercheurs et des experts sur le sujet
- Une lecture adaptée sur écrans

3,99 €



Les *Thema* sont une collection de hors-séries numériques. Chaque numéro contient une sélection des meilleurs articles publiés dans *Pour la Science* sur une thématique.

Dans la collection *Thema* découvrez aussi



**Commandez et téléchargez
les numéros en pdf**



Pour lire votre numéro, rendez-vous dans votre compte client



boutique.pourlascience.fr/tous-les-numeros/thema.html

L'ESSENTIEL

> L'étude des ondes gravitationnelles, grâce à trois observatoires, révolutionne l'étude des trous noirs et des étoiles à neutrons.

> Un quatrième observatoire gravitationnel, *Kagra*, au Japon, devrait entrer en fonction d'ici à la fin avril 2020.

> Il sera le premier observatoire de ce type à être installé sous terre et maintenu à très basse température. Certaines des techniques mises en œuvre seront réutilisées pour la génération suivante d'observatoires.

L'AUTEUR



LEE BILLINGS
rédacteur senior à
Scientific American pour
la physique et le spatial

Kagra, l'éveil du géant sous la montagne

La mise en fonction du premier instrument de détection d'ondes gravitationnelles installé sous terre, au Japon, est imminente.

Les ondes gravitationnelles – ces vibrations de l'espace-temps produites par une coalescence de trous noirs, une collision d'étoiles à neutrons, une explosion de supernovæ, etc. – ont déclenché une révolution dans le domaine de la recherche en astrophysique. Observées pour la première fois en 2015, un siècle après avoir été prédites par Albert Einstein, ces discrètes ondu-
lations ont déjà révélé de nombreux détails sur les objets exotiques qui les produisent. Par exemple, l'étude des ondes gravitationnelles a fourni la première preuve directe de l'existence des trous noirs, a conduit à une nouvelle estimation de la vitesse d'expansion de l'Univers et a montré que les étoiles à neutrons sont la source principale de l'or, du platine et de divers autres éléments lourds dans l'Univers.

Grâce à ces vibrations de l'espace-temps, les chercheurs espèrent un jour sonder les premiers instants après le Big Bang d'une façon tout à fait unique. Mais avant d'atteindre un tel objectif, la prochaine étape dans la traque des ondes gravitationnelles se cache dans les tunnels sombres d'un complexe souterrain, à plus de 200 mètres sous le mont Ikenoyama dans la préfecture de Gifu, au centre du Japon. Une équipe internationale de scientifiques, d'ingénieurs et de techniciens met actuellement la dernière main à un projet qui a démarré il y a près de dix ans: le détecteur d'ondes gravitationnelles de >



DANS LES TUYAUX

À l'abri dans leur tube en acier inoxydable, les deux bras de l'interféromètre *Kagra* s'étendent chacun sur trois kilomètres de long. Le tube abrite une chambre à vide qui contient un système complexe de lasers et de miroirs. L'interféromètre est conçu pour détecter une onde gravitationnelle d'amplitude suffisante. Sous le mont Ikenoyama, au Japon, *Kagra* est à l'abri de certaines vibrations parasites présentes en surface. Avec un inconvénient, cependant : le tunnel est creusé dans de la roche saturée en eau, d'où une humidité ambiante élevée et des fuites qui risquent de perturber l'instrument très sensible.

© Enric Sacchetti

► Kamioka (*Kagra*). Celui-ci devrait bientôt entrer en fonction. L'objectif est de rejoindre les trois autres observatoires déjà opérationnels dans le monde – les deux détecteurs jumeaux d'*Advanced Ligo*, à Hanford, dans l'État de Washington, et à Livingston, dans l'État de Louisiane, aux États-Unis, et *Advanced Virgo*, près de Pise, en Italie – et qui seront dans une phase d'acquisition de données entre la fin de l'année 2019 et avril 2020.

Quand une onde gravitationnelle atteint la Terre, la position et l'orientation des détecteurs sont cruciales pour en tirer un maximum d'information. Ainsi, grâce à sa situation géographique, au Japon, mais aussi à son orientation relative à celle de *Ligo* et *Virgo*, *Kagra* réalisera des mesures indépendantes et complémentaires des autres observatoires. En combinant les données de tous les instruments, il sera possible d'améliorer l'efficacité de détection et la sensibilité globale de l'ensemble des détecteurs.

UN QUATRIÈME DÉTECTEUR À L'ÉCOUTE DU COSMOS

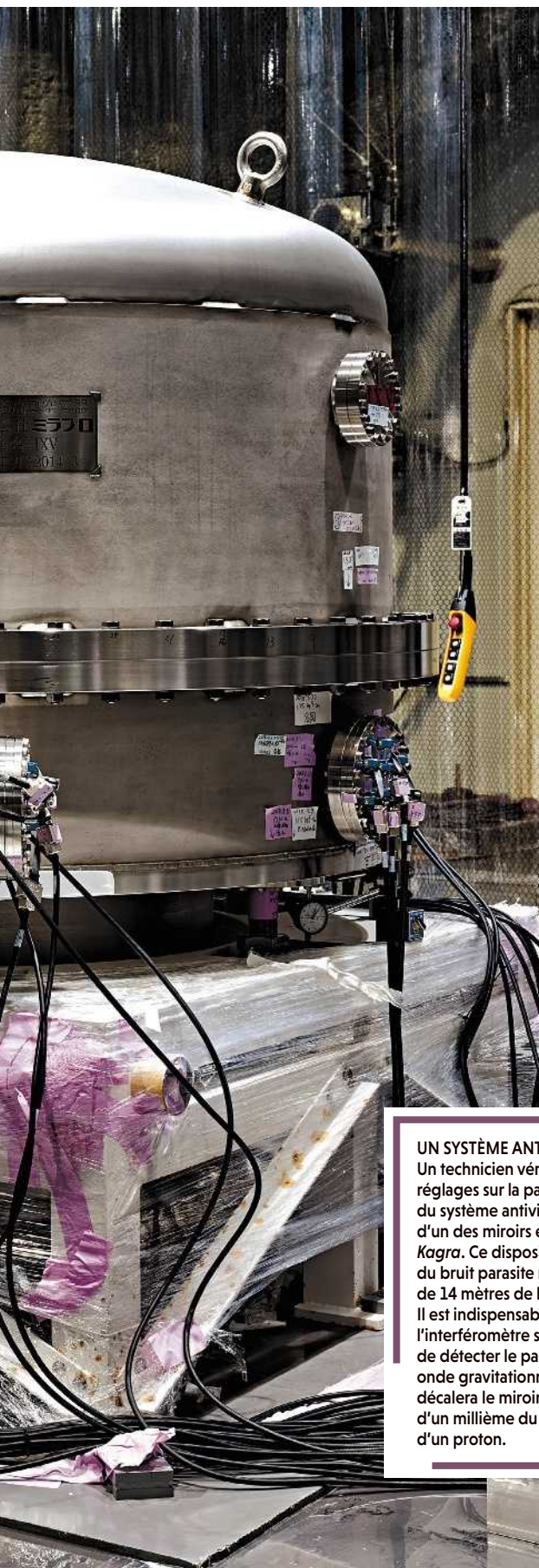
Ce quatuor de détecteurs sera en mesure d'observer des signaux d'ondes gravitationnelles plus faibles. Il sera aussi capable d'indiquer la position dans le ciel de la source des signaux avec une précision assez grande pour transmettre les coordonnées aux télescopes classiques, qui pointeront dans la bonne direction pour recueillir les éventuelles émissions électromagnétiques de ces événements (en particulier dans les coalescences impliquant des étoiles à neutrons). En combinant les mesures de tous les interféromètres, les chercheurs estimeront aussi avec une plus grande fiabilité l'orientation du système binaire lors de la coalescence et l'axe de rotation des trous noirs ou des étoiles à neutrons, des informations cruciales pour calculer les caractéristiques du système binaire.

Pour détecter les vibrations de l'espace-temps, *Kagra* utilise la même technique que *Ligo* et *Virgo* : l'interférométrie laser. Dans cette approche, un faisceau laser est réfléchi par des miroirs suspendus aux extrémités de deux chambres à vide en forme de longs tuyaux. Ces chambres mesurent plusieurs kilomètres de longueur et sont orientées perpendiculairement pour former un L géant. Le laser mesure en continu et de façon très précise la distance entre les miroirs. Or quand une onde gravitationnelle traverse le dispositif, elle comprime et étire l'espace-temps, faisant ainsi varier alternativement la taille des bras de l'interféromètre.

L'interféromètre est sensible à ces altérations, qui sont infinitésimales – plus petites que la taille d'un proton. Mais pour atteindre une telle précision, il est indispensable



© Enrico Sacchetti



UN SYSTÈME ANTIVIBRATIONS
Un technicien vérifie les derniers réglages sur la partie supérieure du système antivibrations d'un des miroirs en saphir de *Kagra*. Ce dispositif d'isolement du bruit parasite mesure près de 14 mètres de hauteur. Il est indispensable pour que l'interféromètre soit en mesure de détecter le passage d'une onde gravitationnelle : celle-ci décalera le miroir de moins d'un millième du diamètre d'un proton.

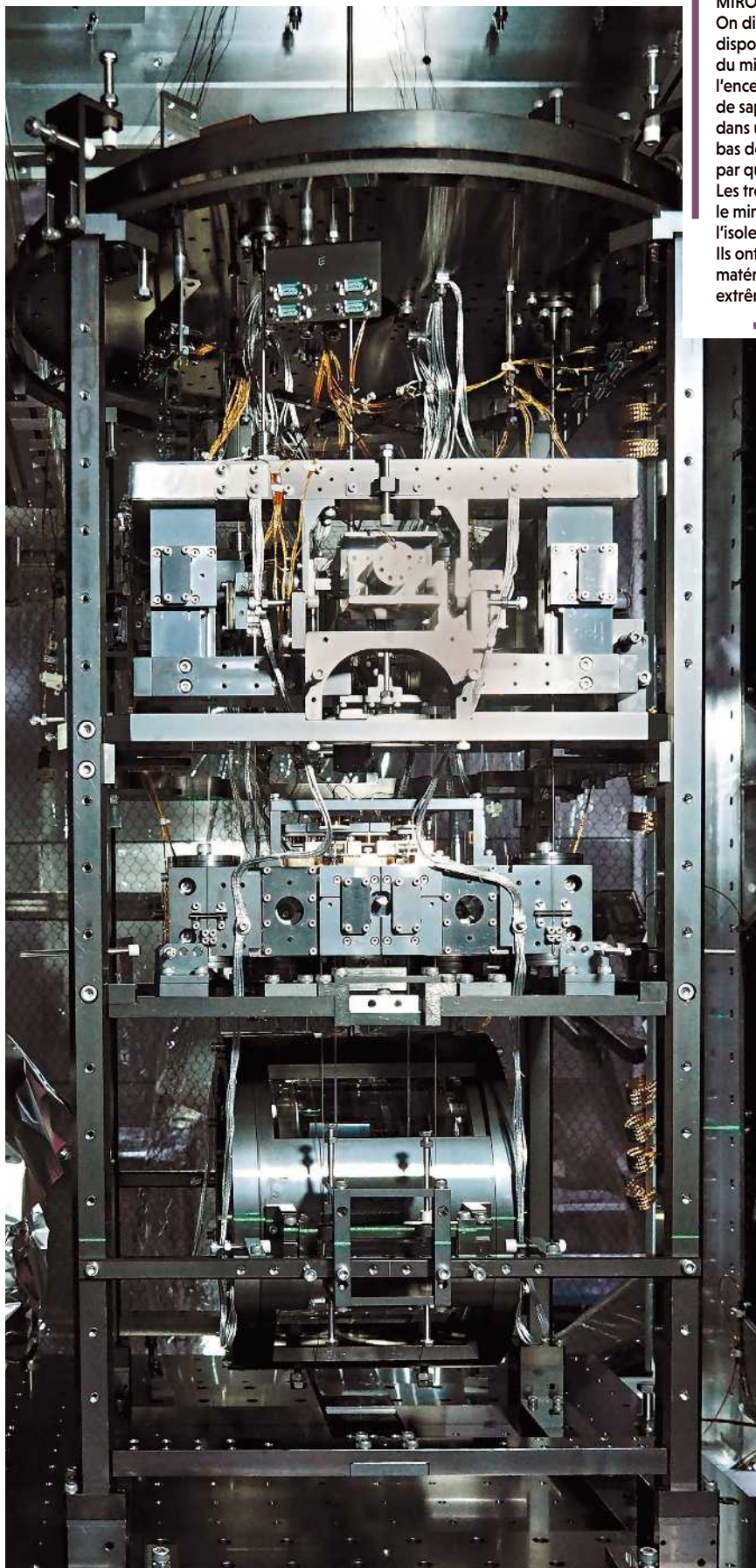
d'éliminer toute autre perturbation: les mouvements sismiques du sol, ceux produits par le ressac sur la côte, les vibrations de la circulation routière et de la nature environnante, et même l'agitation des atomes à la surface des miroirs du dispositif. Distinguer un authentique signal dû au passage d'une onde gravitationnelle de tout autre bruit est un défi immense. Mais grâce à des améliorations techniques constantes, *Ligo* et *Virgo* ont réussi à détecter plus d'une dizaine d'événements parmi un bruit de fond permanent.

UN INTERFÉROMÈTRE GÉANT, ENTIÈREMENT SOUTERRAIN ET À REFROIDISSEMENT CRYOGÉNIQUE

L'expérience *Kagra* se distingue des autres observatoires par deux aspects majeurs. *Kagra* sera le premier interféromètre laser géant à opérer entièrement en sous-sol, à l'abri de la cacophonie du bruit de fond se propageant à la surface de la Terre. Cette expérience est aussi la première à utiliser un système de refroidissement cryogénique pour les miroirs, dont chacun est constitué d'un cristal de saphir poli de 23 kilogrammes. Cette technique devrait réduire considérablement l'agitation thermique des atomes des miroirs et ainsi augmenter la sensibilité de l'instrument. Ainsi, alors que les miroirs de *Virgo* et *Ligo* sont maintenus à température ambiante, ceux de *Kagra* seront plongés à une température de $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ (20 kelvins).

En principe, avec ces deux atouts, *Kagra* devrait à terme être en mesure de détecter des sources d'ondes gravitationnelles bien plus faibles que les autres interféromètres. Mais ces avancées ont aussi des inconvénients. Le dispositif de refroidissement maintient les miroirs à basse température, mais ses propres vibrations introduisent un bruit de fond supplémentaire dans les mesures. Les infiltrations d'eau de pluie ou de fonte de neige s'invitent régulièrement dans les tunnels de *Kagra*, ce qui oblige les équipes à installer des bâches en plastique afin de protéger les équipements sensibles. Et malgré ces précautions, l'humidité ambiante obligera peut-être les équipes à interrompre les mesures pendant les saisons pluvieuses.

Mais si tout se déroule comme prévu, *Kagra* contribuera aux futures grandes découvertes dans le domaine des ondes gravitationnelles. Et l'expérience démontrera l'efficacité de techniques qui seront certainement utilisées dans la génération suivante d'observatoires à travers le monde. Pour découvrir ce nouvel observatoire hors du commun, nous vous présentons ici quelques photographies des derniers préparatifs avant que *Kagra* se lance dans la traque aux ondes gravitationnelles. ■



© Institut de recherche sur les rayons cosmiques, université de Tokyo

MIROIR, MON BEAU MIROIR
On distingue ici une partie du dispositif complexe de suspension du miroir avant son installation dans l'enceinte cryogénique. Le miroir de saphir, vu de côté, est maintenu dans une enceinte cylindrique en bas de l'assemblage. Il est suspendu par quatre fils, également en saphir. Les trois étages qui surmontent le miroir ont été conçus pour l'isoler des mouvements sismiques. Ils ont été construits dans des matériaux qui résisteront au froid extrême de l'enceinte cryogénique.

MAINTIEN AU FROID
Un technicien vérifie le miroir et son système de suspension avant de l'installer dans l'enceinte cryogénique. Lorsque l'ensemble sera isolé, le miroir sera refroidi à une température proche du zéro absolu. L'objectif est de limiter l'agitation thermique des atomes de la surface du miroir, qui altère les mesures de l'interféromètre.

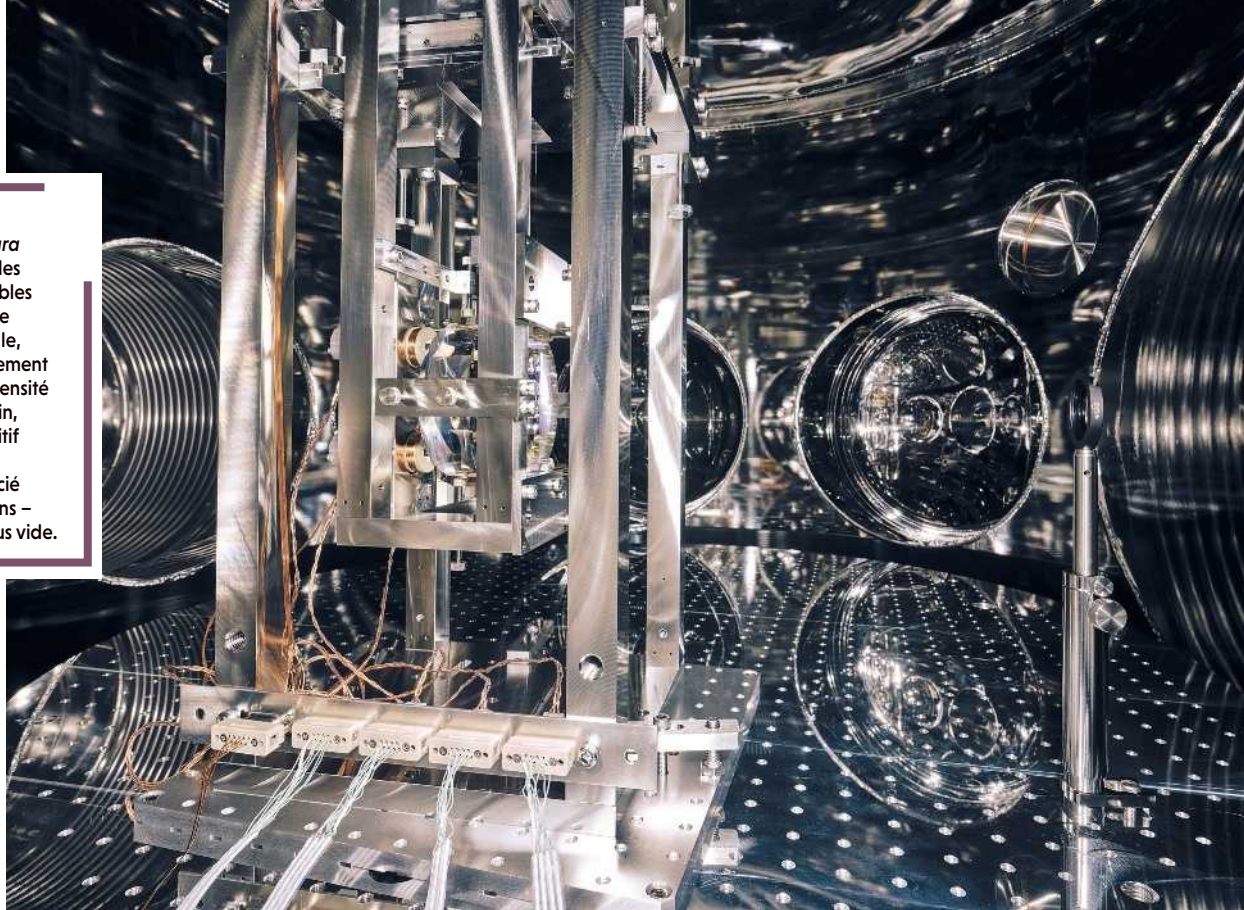


© Rohan Mehra

UN FAISCEAU ÉTROIT

Pour que les lasers de *Kagra* enregistrent précisément les déplacements imperceptibles des miroirs lors du passage d'une onde gravitationnelle, il faut contrôler le plus finement possible la position et l'intensité du faisceau laser. À cette fin, le laser traverse un dispositif similaire à un télescope (*ci-contre*), lui-même associé à un dispositif antivibrations – l'ensemble étant placé sous vide.

© Enrico Sacchetti



BIBLIOGRAPHIE

Collaboration *Kagra*,
**Kagra : 2.5 generation
interferometric
gravitational wave
detector**, *Nature
Astronomy*, vol. 3,
pp. 35-40, 2019.

B. Mours (entretien avec),
« **Avec les ondes
gravitationnelles, nous
verrons l'Univers comme
nous ne l'avons jamais
vu** », *Pour la Science*,
n° 462, avril 2016.

B. P. Abbott *et al.*,
**Observation of
gravitational waves from
a binary black hole
merger**, *Phys. Rev. Lett.*,
vol. 116(6), article
061102, 2016.

D. Buskulic et L. Villain,
**À l'écoute des ondes
gravitationnelles**,
Pour la Science, n° 457,
novembre 2015.

L'ESSENTIEL

> En 1928, on s'est aperçu que des gènes pouvaient passer d'une bactérie à une autre sans que l'une descende de l'autre.

> Vers les années 2000, devant l'ampleur de ce phénomène, nommé transfert horizontal, des biologistes y ont vu un sérieux obstacle

à la construction de l'arbre du vivant.

> Pourtant, le transfert horizontal se révèle un outil précieux pour préciser cet arbre et le dater.

LES AUTEURS



ÉRIC TANNIER
chercheur
de l'Inria Grenoble
Rhône-Alpes,
à Villeurbanne



BASTIEN BOUSSAU
chercheur du CNRS
au laboratoire de
biométrie et
biologie évolutive,
université de Lyon



VINCENT DAUBIN
directeur de
recherche du CNRS
dans le même
laboratoire

