

► 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

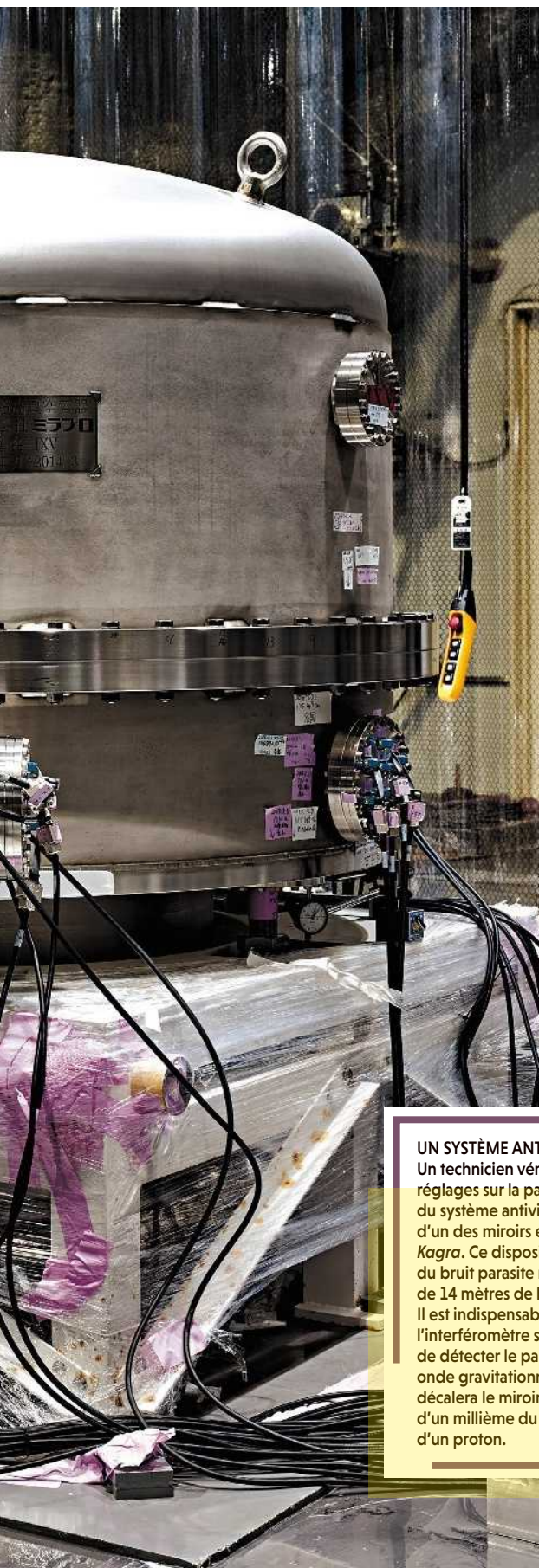
Ce quatuor de détecteurs sera en mesure d'observer des signaux d'ondes gravitationnelles plus faibles. Il sera aussi capable d'indiquer la position dans le ciel de la source des signaux avec une précision assez grande pour transmettre les coordonnées aux télescopes classiques, qui pointeront dans la 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 millièmètre du diamètre d'un proton.

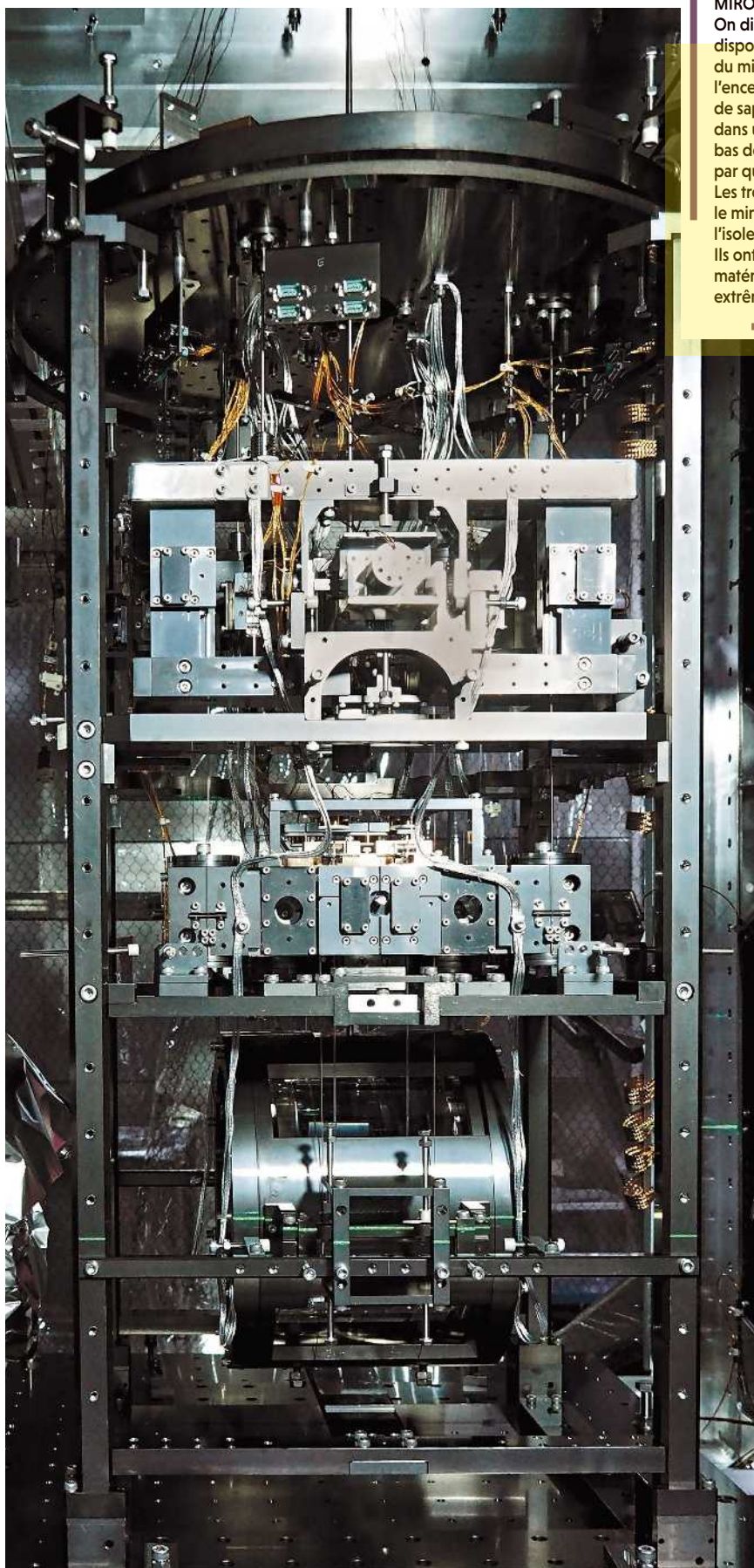
d'éliminer toute autre perturbation: les mouvements sismiques du sol, ceux produits par le ressac sur la côte, les vibrations de la circulation routière et de la nature environnante, et même l'agitation des atomes à la surface des miroirs du dispositif. Distinguer un authentique signal dû au passage 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. ■



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

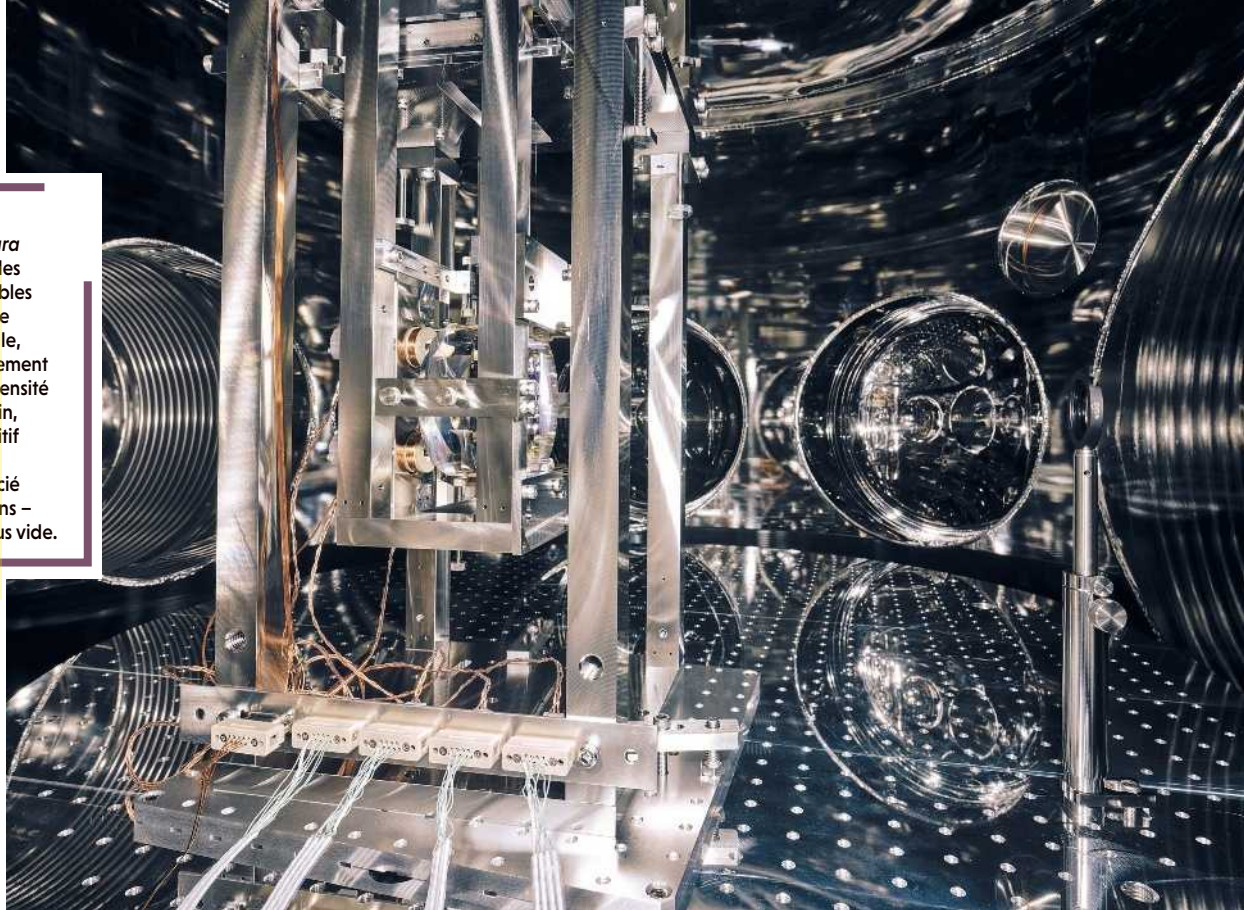
Un technicien vérifie le miroir et son système de suspension avant de l'installer dans l'enceinte cryogénique. Lorsque l'ensemble sera isolé, le miroir sera refroidi à une température proche du zéro absolu. L'objectif est de limiter l'agitation thermique des atomes de la surface du miroir, qui altère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



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.