

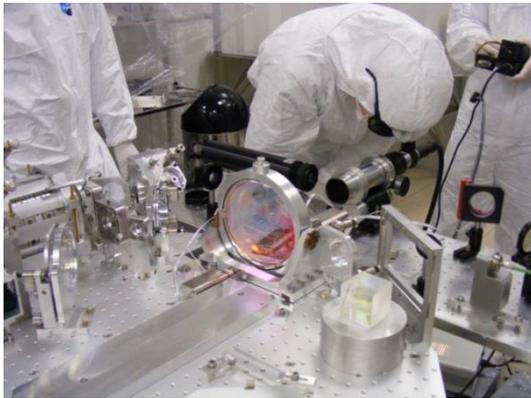


www.cnrs.fr

LES LABORATOIRES DU CNRS DANS LA COLLABORATION VIRGO

APC

laboratoire Astroparticule et cosmologie (CNRS/Université Paris Diderot/CEA/Observatoire de Paris)



Alignement du télescope d'injection d'Advanced Virgo. © APC

Grâce à son implication dans Virgo depuis 2008 et dans les expériences *LISA Pathfinder* et *LISA*, le laboratoire APC est pleinement engagé dans la recherche des ondes gravitationnelles. Le groupe Virgo de l'APC contribue aussi bien au développement de l'instrument Advanced Virgo qu'à l'exploitation scientifique de ses données.

Pour ce qui concerne Advanced Virgo, un des membres du groupe Virgo-APC a été responsable de la configuration optique de l'interféromètre lors de la conception du détecteur. Le groupe a été aussi responsable de la conception, de la production et de l'installation des *télescopes d'adaptation de modes*.

Ces dispositifs jouent un rôle essentiel, car ils permettent d'augmenter ou réduire le rayon du faisceau laser en entrée et en sortie du détecteur, tout en conservant de très bonnes performances optiques. En vue des améliorations futures de Advanced Virgo et du développement de la prochaine génération de détecteurs, le groupe Virgo-APC a été impliqué depuis sa création dans plusieurs activités de R&D: réduction du bruit thermique des miroirs par l'utilisation de faisceaux non-gaussiens, réduction du bruit quantique par l'utilisation d'états compressés de la lumière (*squeezing*), et étude des perturbations locales de gravité (bruit *newtonien*). En lien avec ces activités, l'application des détecteurs d'ondes gravitationnelles aux géosciences est également explorée.

Le groupe APC contribue à l'analyse des données de Virgo et LIGO, à la fois à la recherche des sources impulsionnelles (un des membres de l'APC a été l'un des coordinateurs du groupe d'analyse LIGO-Virgo) et à celle de coalescences d'objets compacts (un des membres de l'APC est actuellement l'un des coordinateurs du groupe d'analyse LIGO-Virgo). Le groupe APC est aussi l'initiateur de plusieurs projets combinant les observations des ondes gravitationnelles et celles de l'astronomie conventionnelle et un des membres de l'APC a co-piloté la mise en place du programme international de coopération entre des astronomes et les détecteurs LIGO et Virgo. Des membres du groupe ont aussi coordonné l'écriture de certains des articles majeurs de la collaboration LIGO-Virgo.



www.cnrs.fr

Artemis

laboratoire Astrophysique relativiste, théories, expériences, métrologie, instrumentation, signaux (CNRS/Observatoire de la Côte d'Azur/Université Nice Sophia Antipolis)

Le groupe Virgo Artemis a été créé en 1985 par des spécialistes des lasers et des mesures optiques de précision, basés à l'époque à l'Université Paris-Sud et qui sont à l'origine du projet Virgo en France. Les membres du groupe Artemis ont réalisé des contributions majeures au niveau du laser de Virgo, des simulations optiques (abondamment utilisées dès la conception des détecteurs Virgo et LIGO, et plus récemment pour définir les configurations des détecteurs avancés) et de l'analyse des données. Ils participent également à la conception des détecteurs d'ondes gravitationnelles de la prochaine génération, comme la mission spatiale *LISA* ou le télescope souterrain « Einstein Telescope ».



Le banc laser de Virgo. © Artemis

Advanced Virgo est alimenté par un système laser construit par le groupe Artemis et dont les caractéristiques finales (en termes de stabilité, d'intensité et de précision) seront sans équivalent. Côté analyse des données, le groupe s'intéresse au fond stochastique d'ondes gravitationnelles, c'est-à-dire au signal produit par la superposition incohérente de toutes les sources qui existent mais qui sont trop faibles pour être détectées individuellement. Cela inclut à la fois un signal possible émis peu de temps après le Big Bang et une grande variété de sources dans notre galaxie. De plus, le groupe travaille sur la détection des contreparties optiques des sursauts gamma. Il pilote le réseau de télescopes automatiques Tarot qui est intégré au programme de suivi des sources potentielles d'ondes gravitationnelles identifiées par Virgo et LIGO. Enfin, le groupe Artemis travaille sur des applications dérivées de ses développements pour Virgo, dans les domaines de la métrologie des longueurs et des faisceaux laser de haute intensité dans des cavités optiques. Ces techniques sont prometteuses pour le suivi de la position des satellites et pour la production d'énergie dans le réacteur ITER.



www.cnrs.fr

LAL

Laboratoire de l'accélérateur linéaire (LAL, CNRS/Université Paris-Sud)



L'une des deux salles blanches de la plate-forme CALVA
© CNRS/Cyril Fréssillon

Le Laboratoire de l'accélérateur linéaire (LAL) est l'un des membres fondateurs de la collaboration Virgo. Le groupe Virgo du LAL a été responsable de la construction des tubes à vide de grand diamètre présents dans chaque bras de 3 km de l'interféromètre, dans lesquels circule la lumière. Actuellement, ses activités vont du contrôle et de la caractérisation du détecteur à la recherche de signaux transitoires d'ondes gravitationnelles, en passant par la R&D.

Pour Advanced Virgo, le groupe du LAL est responsable de l'amélioration du système de contrôle du vide : le remplacement des trente châssis d'électronique a nécessité à la fois la

fabrication de nouvelles cartes électronique et les développements logiciels associés. Le groupe est également en charge de l'utilisation de lasers auxiliaires pour l'acquisition du contrôle de l'interféromètre (une procédure nécessaire pour amener le détecteur au point de fonctionnement où il est le plus sensible). Dans ce but, le LAL utilise la plate-forme CALVA installée à Orsay. Cette double cavité (5 m et 50 m) suspendue et sous vide permet de tester et de valider des stratégies d'acquisition du contrôle des cavités qui sont ensuite mises en œuvre pour Advanced Virgo. Ces développements sont menés en collaboration avec le Laboratoire de physique et d'étude des matériaux de l'ESPCI.

Avec les groupes Virgo du LAPP, du LKB et du LMA, le groupe du LAL étudie les « états compressés de la lumière » (« squeezing »), une méthode pour diminuer le bruit quantique et qui pourrait être mise en pratique dans une seconde phase du projet Advanced Virgo. Les effets d'un squeezing dépendant de la fréquence seront étudiés sur la plateforme CALVA du LAL. Enfin, le groupe du LAL développe, en collaboration avec le groupe « Optique » du consortium EGO, une activité de R&D portant sur les miroirs déformables thermiquement. L'idée est d'agir sur la surface du miroir pour l'adapter à la forme du faisceau laser incident, ce qui permettra de diminuer les pertes dans le détecteur.

Le groupe du LAL est également actif dans le domaine de l'analyse des données, en particulier au sein du groupe de travail commun LIGO-Virgo qui étudie les signaux transitoires d'ondes gravitationnelles. Ses activités portent sur la recherche d'ondes gravitationnelles en coïncidence avec des sursauts gamma (le groupe est aussi impliqué dans la mission SVOM), sur les signaux potentiels émis par les cordes et les supercordes et sur la recherche de signaux transitoires « longs » (durée supérieure à 1 seconde). Enfin, le groupe est impliqué dans les études portant sur la qualité des données du détecteur. Il développe notamment des méthodes pour identifier les périodes pendant lesquelles les données sont trop "broyantes" pour être analysées.



www.cnrs.fr

LAPP

Laboratoire d'Annecy de physique des particules (CNRS/Université Savoie Mont Blanc)

Le groupe du LAPP est membre de la collaboration Virgo depuis le début des années 1990. Ses contributions au projet sont multiples : de la construction à la mise en service du détecteur (enceintes à vide, bancs optiques, électronique, système d'acquisition des données, etc.), à la recherche de signaux, en passant par la calibration des données et les études portant sur leur qualité.

Le groupe du LAPP a conçu, produit et installé les enceintes à vide qui contiennent les grands miroirs de Virgo et leurs suspensions de 10 mètres de haut, mais aussi les plates-formes pour travailler autour de ces enceintes et les accès vers l'intérieur des enceintes à vide à partir des salles blanches.

Il a aussi pris en charge, avec des aspects optique, électronique et mécanique, la conception, la production et l'installation de bancs optiques sous vide (un pour Virgo, six pour Advanced Virgo). Ceux-ci permettent de mesurer, en permanence et en de nombreux endroits, les caractéristiques du faisceau laser. Ces données contiennent les signaux potentiels laissés par les ondes gravitationnelles ainsi que les informations utiles pour amener et maintenir l'interféromètre à son point de fonctionnement.

Des systèmes d'asservissement informatiques utilisant de l'électronique synchronisée par GPS permettent de contrôler et d'ajuster en temps réel la position et l'alignement des miroirs. Leurs cartes électroniques et les logiciels associés ont été conçus, produits et installés sous la responsabilité du LAPP. Il est aussi en charge de l'acquisition, du stockage et de la visualisation des données enregistrées par l'ensemble du détecteur, de la calibration de l'interféromètre et de la reconstruction des données. Le groupe du LAPP contribue également à la caractérisation du détecteur, à la fois pour améliorer et optimiser les différents éléments de l'interféromètre, et aussi pour comprendre l'origine des bruits qui limitent la sensibilité de l'instrument.

Au niveau de l'analyse des données, le groupe du LAPP se concentre sur la recherche des signaux d'ondes gravitationnelles provenant de la coalescence de systèmes binaires d'étoiles à neutrons ou trous noirs, et de signaux en coïncidence avec les sursauts gamma. Il a notamment mis en œuvre une analyse en temps réel des données de LIGO et Virgo, pour permettre l'envoi d'alertes à des partenaires de l'astronomie traditionnelle à même d'explorer les zones du ciel susceptibles de contenir les sources potentielles, ceci afin d'y rechercher d'éventuels signaux électromagnétiques accompagnant le rayonnement gravitationnel.



Insertion d'un banc optique dans son enceinte à vide © CNRS/Cyril Fréssillon

LKB

Laboratoire Kastler Brossel (LKB, CNRS/ENS/UPMC/Collège de France)

Le groupe Virgo du LKB fait partie de l'équipe « Optomécanique et mesures quantiques » de ce laboratoire, qui a une expertise reconnue dans l'étude de la manière dont le couplage, dû à la pression de radiation, entre un faisceau laser et des résonateurs mécaniques limite au niveau quantique des mesures extrêmement sensibles, comme celles effectuées par Virgo.



Système de refroidissement par dilution utilisé pour diminuer le bruit thermique mécanique d'un système. © CNRS/A. Kuhn

Le groupe Virgo du LKB étudie la possibilité d'utiliser des états comprimés de la lumière (« squeezing ») dépendants de la fréquence pour améliorer la sensibilité d'Advanced Virgo. Des tests seront effectués sur la plate-forme CALVA du LAL. Le « squeezing » dépendant de la fréquence permettrait de diminuer le bruit quantique à la fois dans le domaine des basses fréquences (où la sensibilité d'Advanced Virgo sera limitée par la pression de radiation) et à haute fréquence (où domine le bruit de grenaille des photons du faisceau laser).

De plus, le groupe du LKB étudie les effets classiques de la pression de radiation dans les détecteurs d'ondes gravitationnelles et développe des stratégies de contrôle pour l'atténuer. Par exemple, l'utilisation d'une puissance laser élevée crée un couplage entre les modes de vibration internes des substrats des miroirs et les modes optiques transverses des cavités kilométriques. L'apparition d'instabilités dynamiques est prédite dans certaines conditions, un phénomène que ce groupe a mis en évidence et étudié sur des expériences de table. De telles instabilités pourraient empêcher les détecteurs d'ondes gravitationnelles avancés d'utiliser la pleine puissance de leurs lasers.

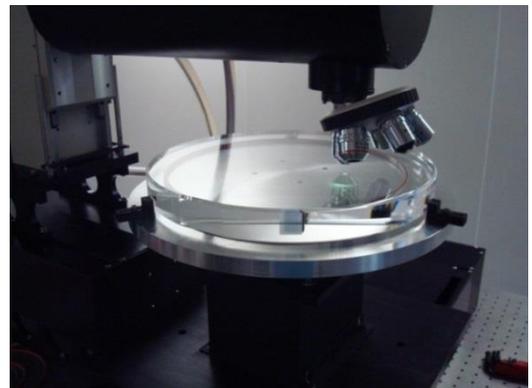


www.cnrs.fr

LMA

Laboratoire des matériaux avancés du CNRS

Le LMA, situé à Villeurbanne, est spécialisé dans l'étude, la réalisation et la caractérisation de dépôts très fins de matériaux sur des optiques de grandes dimensions. Membre de la collaboration Virgo depuis le démarrage du projet en 1993, l'équipe Virgo du LMA joue un rôle majeur dans l'expérience puisque tous ses principaux composants optiques (une dizaine de grands miroirs et une centaine d'autres plus petits, utilisés pour mettre en forme le faisceau laser avant son entrée dans l'interféromètre et en sortie de celui-ci) ont reçu leurs dépôts de couches et ont été caractérisés dans ce laboratoire. Le groupe est en charge de la fabrication et la métrologie des miroirs (achat des substrats, polissage, dépôt et caractérisation des fines couches de matériaux optiques) et coordonne le développement des simulations de la configuration optique de l'interféromètre. Enfin, il participe à la mise au point du détecteur, afin de l'amener à sa sensibilité nominale.



Recherche de possibles défauts ponctuels sur l'un des grands miroirs d'Advanced Virgo. © L. Pinard/CNRS/Virgo

En plus de ceux d'Advanced Virgo, les miroirs les plus critiques des détecteurs Advanced LIGO (Etats-Unis) et KAGRA (Japon) ont également été traités au LMA où ils ont reçu les fines couches de matériaux optiques qui forment leur revêtement. Le LMA conduit un important programme de recherche pour améliorer l'uniformité du dépôt des couches sur de grandes surfaces et pour trouver de nouveaux matériaux permettant de réduire le bruit thermique lié aux couches déposées. Grâce à ses compétences techniques, le LMA est également impliqué dans des projets importants en astrophysique, ainsi que dans des expériences de physique fondamentale de plus petite taille.