www.cnrs.fr

Advanced Virgo : un détecteur de deuxième génération, pour l'astronomie gravitationnelle

© Virgo / N. Baldocchi

www.cnrs.fr

L'INSTRUMENT

L'infographie page 22 donne un aperçu de la composition et du fonctionnement de l'instrument.

De Virgo à Advanced Virgo

La construction du détecteur d'ondes gravitationnelles Virgo a été décidée en 1993-1994 par la France et l'Italie. Les phases d'acquisition du site, de réalisation de l'infrastructure, d'installation puis de mise au point de l'instrument ont abouti à sa mise en route en 2007. Les années suivantes ont été dédiées aux périodes de prise de données, entrecoupées d'améliorations de l'instrument. En 2011, ayant atteint les limites de ce qu'il était possible de faire avec Virgo en tant qu'instrument de première génération, l'exploitation de l'instrument a été arrêtée afin de procéder à des modifications majeures pour augmenter significativement sa sensibilité. L'instrument amélioré, appelé Advanced Virgo, redémarrera à l'automne 2016.

Comment fonctionne Advanced Virgo ?

Les ondes gravitationnelles déforment l'espace qu'elles traversent. Cela signifie qu'au passage d'une onde gravitationnelle, la distance qui sépare deux objets va osciller de manière minime. Ces déformations ne se produisent pas dans toutes les directions de la même manière. En fait, l'espace est « étiré » dans une direction et « raccourci » dans une autre direction (perpendiculaire à la première).

Pour détecter les ondes gravitationnelles sur Terre, il faut donc pouvoir comparer deux distances, chose qu'un interféromètre fait à merveille. Dans l'interféromètre Virgo, la lumière d'un laser ultrastable est séparée en deux par un miroir semi-réfléchissant. Chacun de ces deux faisceaux parcourt, sous vide, une distance de 3 km dans des directions perpendiculaires (que l'on appelle communément des « bras » de l'interféromètre) jusqu'à un miroir qui renvoie la lumière vers le point de départ. A cet endroit, les deux faisceaux se recombinent. L'intensité du faisceau laser recombiné dépend des variations de longueur d'un bras par rapport à l'autre ; sa mesure porte donc la signature de l'onde gravitationnelle.

Mesurer d'infimes variations de longueur

Advanced Virgo mesure ainsi des variations de longueurs. Le plus petit signal mesurable – la sensibilité – dépend de la nature de ces variations : si elles sont lentes ou rapides, si elles se répètent ou ne se produisent qu'une fois. Advanced Virgo est sensible à des variations de longueur qui sont environ un milliard de fois plus petites que la taille d'un atome et qui évoluent en moins d'un dixième de seconde.

La difficulté consiste à construire un instrument capable de mesurer de telles variations, alors que les déplacements naturels des objets causés par les vibrations du sol ou de l'air sont d'environ mille fois la taille d'un atome. Pour éviter que de tels signaux parasites ne viennent masquer les infimes signaux recherchés, l'interféromètre est placé sous vide et isolé des déplacements du sol par des systèmes complexes, un peu comme s'il flottait en apesanteur et se trouvait hors de l'atmosphère terrestre.

Pour optimiser la sensibilité d'Advanced Virgo, plusieurs techniques sont utilisées. Tout d'abord, les bras de l'interféromètre sont longs (3 km), afin d'accumuler l'effet d'étirement de l'espace provoqué par les ondes gravitationnelles. Ensuite, des miroirs supplémentaires permettent d'augmenter l'intensité du

faisceau lumineux, et de lui faire parcourir plusieurs centaines de fois les bras de l'interféromètre, afin d'amplifier le signal observable. Cela nécessite des miroirs qui renvoient ou transmettent parfaitement la lumière et ne l'absorbent quasiment pas.

Un soin particulier est apporté à ce que la lumière parasite provoquée par les défauts résiduels de l'interféromètre soit éliminée et ne pollue pas la mesure. La taille des faisceaux laser est élargie au maximum pour limiter l'impact des vibrations dues à l'agitation thermique des surfaces des miroirs.

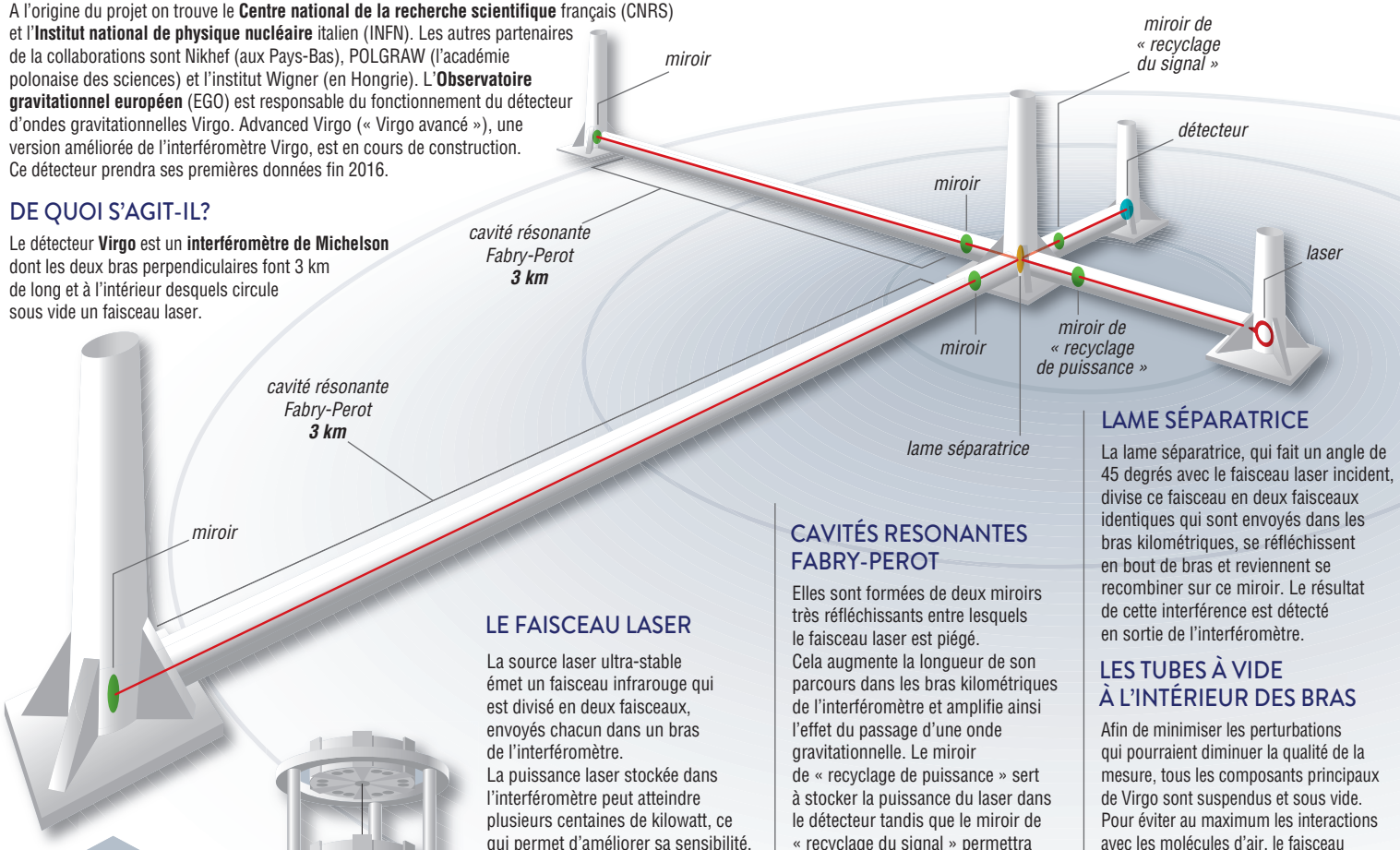
L'objectif est d'aboutir à un instrument dix fois plus sensible, à même d'observer un volume d'Univers 1000 fois plus grand. Ainsi, il pourra détecter des fusions de couples d'étoiles à neutrons jusqu'à 1 milliard d'années-lumière, et celle de couples de trous noirs jusqu'à 6 milliards d'années-lumière.

Virgo

Virgo est un détecteur interférométrique d'ondes gravitationnelles construit à Cascina près de Pise en Italie. A l'origine du projet on trouve le **Centre national de la recherche scientifique** français (CNRS) et l'**Institut national de physique nucléaire** italien (INFN). Les autres partenaires de la collaborations sont Nikhef (aux Pays-Bas), POLGRAW (l'académie polonaise des sciences) et l'institut Wigner (en Hongrie). L'**Observatoire gravitationnel européen** (EGO) est responsable du fonctionnement du détecteur d'ondes gravitationnelles Virgo. Advanced Virgo (« Virgo avancé »), une version améliorée de l'interféromètre Virgo, est en cours de construction. Ce détecteur prendra ses premières données fin 2016.

DE QUOI S'AGIT-IL?

Le détecteur **Virgo** est un **interféromètre de Michelson** dont les deux bras perpendiculaires font 3 km de long et à l'intérieur desquels circule sous vide un faisceau laser.



LE FAISCEAU LASER

La source laser ultra-stable émet un faisceau infrarouge qui est divisé en deux faisceaux, envoyés chacun dans un bras de l'interféromètre.
La puissance laser stockée dans l'interféromètre peut atteindre plusieurs centaines de kilowatt, ce qui permet d'améliorer sa sensibilité. Cependant, la chaleur absorbée par les miroirs déforme leur surface. C'est pourquoi un système avancé de compensation thermique a été mis au point pour contrebalancer cet effet.

CAVITÉS RESONANTES FABRY-PEROT

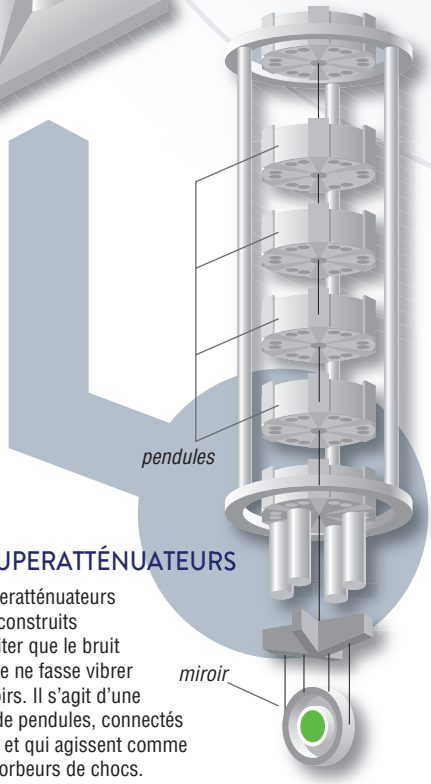
Elles sont formées de deux miroirs très réfléchissants entre lesquels le faisceau laser est piégé.
Cela augmente la longueur de son parcours dans les bras kilométriques de l'interféromètre et amplifie ainsi l'effet du passage d'une onde gravitationnelle. Le miroir de « recyclage de puissance » sert à stocker la puissance du laser dans le détecteur tandis que le miroir de « recyclage du signal » permettra d'améliorer la sensibilité de Virgo. Les irrégularités de la surface des miroirs sont réduites à quelques fractions de millionième de millimètre afin d'optimiser le stockage de la lumière dans les cavités optiques.

LAME SÉPARATRICE

La lame séparatrice, qui fait un angle de 45 degrés avec le faisceau laser incident, divise ce faisceau en deux faisceaux identiques qui sont envoyés dans les bras kilométriques, se réfléchissent en bout de bras et reviennent se recombiner sur ce miroir. Le résultat de cette interférence est détecté en sortie de l'interféromètre.

LES TUBES À VIDE À L'INTÉRIEUR DES BRAS

Afin de minimiser les perturbations qui pourraient diminuer la qualité de la mesure, tous les composants principaux de Virgo sont suspendus et sous vide. Pour éviter au maximum les interactions avec les molécules d'air, le faisceau laser circule sous ultra-vide (la **pression résiduelle est un millionième de millionième de la pression atmosphérique**). Les miroirs sont accrochés au bout de suspensions actives hautes de 6 m, les superatténuateurs.

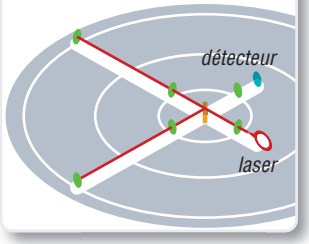


LES SUPERATTÉNUATEURS

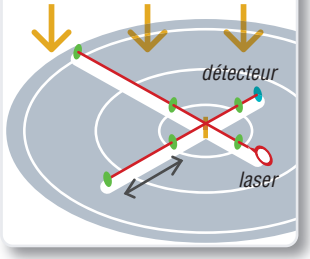
Les superatténuateurs ont été construits pour éviter que le bruit sismique ne fasse vibrer les miroirs. Il s'agit d'une chaîne de pendules, connectés en série et qui agissent comme des absorbeurs de chocs.

COMMENT FONCTIONNE L'INTERFÉROMÈTRE

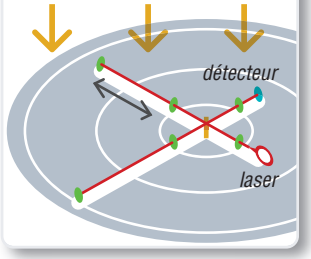
Quand les deux faisceaux ressortent des bras, ils ont des phases opposées : aucune lumière n'est détectée en sortie.



Lorsqu'une **onde gravitationnelle** traverse l'interféromètre, elle produit une variation infime (bien plus petite que le diamètre d'un noyau atomique) des longueurs des bras : l'un s'allonge tandis que l'autre rétrécit.



Ces variations produisent une modification de la figure d'interférence détectée en sortie de l'interféromètre : le signal mesuré est proportionnel à l'amplitude de l'onde gravitationnelle.



LES ACTEURS

La collaboration Virgo

Pour réaliser, faire fonctionner et exploiter les données de l'interféromètre Virgo, plusieurs équipes de scientifiques français et italiens se sont associées pour former la collaboration Virgo. Au fil de la construction et des prises de données, leur nombre a augmenté. Elles ont également été rejointes par des scientifiques néerlandais puis polonais et enfin hongrois.

Le consortium EGO, une société de droit civil italien financée à parité par le CNRS et l'INFN (Italie), a été mis en place en 2000 pour assurer la gestion des infrastructures du site. Il travaille étroitement avec la collaboration Virgo pour la réalisation et l'exploitation de l'instrument.

Actuellement la collaboration Virgo compte environ 250 personnes provenant de 18 groupes de scientifiques, dont environ une centaine de personnes en France, réparties dans six laboratoires (voir ci-dessous).

La collaboration Virgo a un accord privilégié avec la collaboration scientifique LIGO et le laboratoire LIGO pour l'exploitation commune des instruments Virgo et LIGO, se traduisant par des publications scientifiques conjointes, signées par un millier d'auteurs, dont 74 français.

Les laboratoires du CNRS dans la collaboration Virgo

Six laboratoires français, tous associés au CNRS, font partie de la collaboration Virgo :

- le laboratoire Astroparticule et cosmologie (APC, CNRS/Université Paris Diderot/CEA/Observatoire de Paris), à Paris.
- le laboratoire Astrophysique relativiste, théories, expériences, métrologie, instrumentation, signaux (Artemis, CNRS/Observatoire de la Côte d'Azur/Université Nice Sophia Antipolis), à Nice.
- le Laboratoire de l'accélérateur linéaire (LAL, CNRS/Université Paris-Sud), à Orsay.
- le Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de physique des particules (LAPP, CNRS/Université Savoie Mont Blanc), à Annecy-le-Vieux.
- le Laboratoire Kastler Brossel (LKB, CNRS/ENS/UPMC/Collège de France), à Paris.
- le Laboratoire des matériaux avancés (LMA, CNRS), à Villeurbanne.

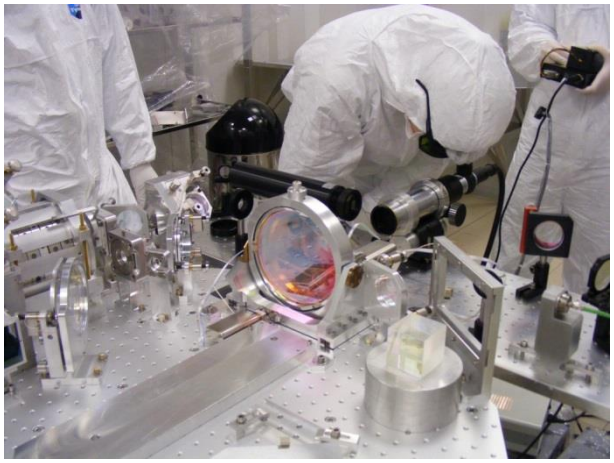
APC

Grâce à son implication dans Virgo depuis 2008 et dans les expériences *LISA Pathfinder* et *eLISA*, 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 qu'à l'exploitation scientifique de ses données.

Un des membres du groupe a été en charge de la configuration optique de l'interféromètre lors de la conception d'Advanced Virgo. Le groupe est responsable de la conception, de la production et de l'installation des "télescopes d'adaptation de modes" qui ajustent la taille du faisceau laser en entrée et en sortie du détecteur. Le groupe étudie de nouvelles techniques permettant de réduire le bruit thermique des miroirs par l'utilisation de faisceaux non-gaussiens, et le bruit quantique par l'utilisation d'états compressés de la lumière (*squeezing*), en vue des améliorations futures du détecteur Virgo et du développement des prochaines générations de détecteurs. En

connexion avec ces activités expérimentales, l'application des détecteurs d'ondes gravitationnelles aux géosciences est également étudiée.

Le groupe contribue également à l'analyse des données de Virgo et LIGO, plus spécifiquement aux recherches de sources impulsionnelles – un des membres du groupe en partage la responsabilité. Le groupe APC est aussi l'initiateur de plusieurs projets combinant les observations des ondes gravitationnelles et celles de l'astronomie conventionnelle. Un des membres du groupe APC a copiloté la mise en place du programme international de coopération entre des astronomes et les détecteurs LIGO et Virgo.

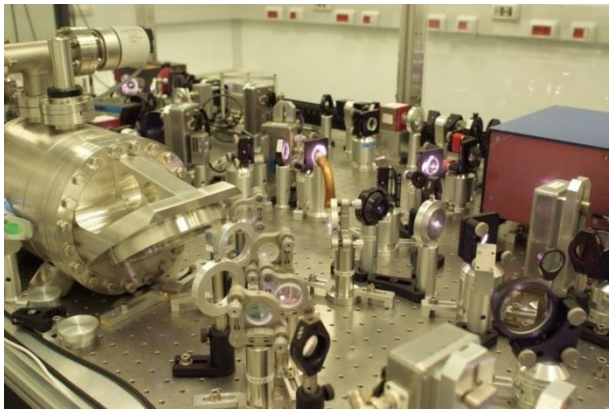


Alignement du télescope d'injection d'Advanced Virgo. © APC

Artemis

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 eLISA ou le télescope souterrain « Einstein ».

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.



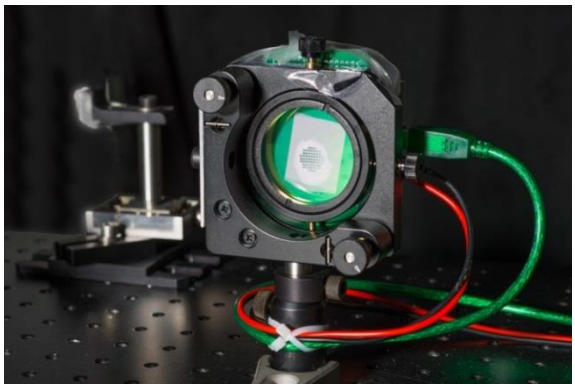
***Le banc laser de Virgo**. © Artemis*

LAL

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 nécessite 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 à son 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 pourront ensuite être 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.

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



Prototype d'un miroir déformable thermiquement, installé sur la table optique principale de la plate-forme CALVA.
© CNRS/Cyril Frésillon

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 (en utilisant les données des télescopes en orbite Swift, Fermi et IPN), 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 "bruyantes" pour être analysées.

LAPP

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'astres compacts, étoiles à neutrons ou trous noirs. Il a notamment mis en œuvre une recherche en temps réel de ces signaux dans les 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.

Préparation d'un banc optique dans la salle blanche du LAPP en 2015 *: assemblage des optiques et des composants électroniques.*
© LAPP/VIRGO Collaboration

Insertion d'un banc optique dans son enceinte à vide (2016)
© CNRS/Cyril Frésillon

Préparation de cartes électroniques digitales au LAPP en 2015*.*
© LAPP/VIRGO Collaboration

LKB

Le groupe Virgo du LKB fait partie de l'équipe « Optomécanique et mesure quantique » 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.

Le groupe Virgo du LKB étudie la possibilité d'utiliser des états comprimés de la lumière (le « 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 le groupe du LKB a mis en évidence et étudié sur des expériences de table. De telles instabilités

pourraient empêcher les détecteurs interférométriques d'ondes gravitationnelles avancés d'utiliser la pleine puissance de leurs lasers.

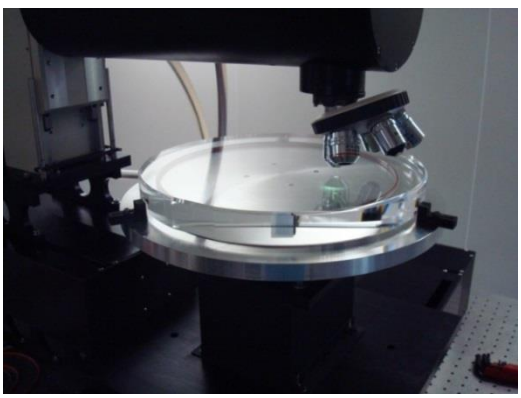
***Système de refroidissement par dilution utilisé pour diminuer le bruit thermique mécanique d'un système**, afin d'étudier le bruit de pression de radiation quantique dans une expérience sur table. Les différents étages sont à des températures différentes : de gauche à droite 300 K, 200 K, 100 K, 4 K, 1 K et 100 mK pour la cavité situé juste derrière la lentille de focalisation. En arrière-plan on peut voir différents composants typiques utilisés pour réaliser des mesures interférométriques très sensibles avec un laser.*

© CNRS/A. Kuhn

LMA

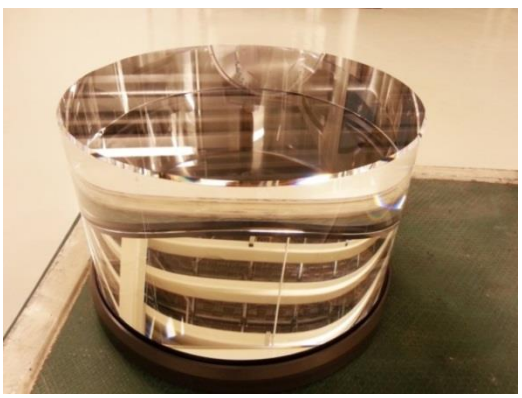
Le Laboratoire des Matériaux Avancés (LMA) du CNRS est spécialisé dans l'étude, la réalisation et la caractérisation de dépôts très fins de matériaux très performants sur des optiques de grande dimension. Membre de la collaboration Virgo depuis le démarrage du projet en 1993, l'équipe Virgo du LMA joue 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 des miroirs (achat des substrats, polissage et dépôt 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.

En plus de ceux d'Advanced Virgo, les miroirs des détecteurs Advanced LIGO 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.



Recherche de possibles défauts ponctuels sur l'un des grands miroirs d'Advanced Virgo

© L. Pinard / Virgo Collaboration



Un grand miroir de 40 kg pour Advanced Virgo (350 mm de diamètre, 200 mm d'épaisseur)

© L. Pinard / Virgo Collaboration.

L'Observatoire gravitationnel européen (EGO)

Constitué en décembre 2000 par les institutions publiques de recherche que sont le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), EGO est un consortium privé soumis à la loi italienne. Il a comme principale finalité la construction, le fonctionnement et l'amélioration de l'antenne d'ondes gravitationnelles Virgo, ainsi que de favoriser et coordonner la recherche sur la gravitation. Outre les membres français et italien, CNRS et INFN, le *Nationaal instituut voor subatomaire fysica* (Nikhef) néerlandais siège en tant qu'observateur au Conseil d'Administration de EGO, organe de gouvernance du consortium.

Dans le cadre de l'expérience Virgo, EGO met ses infrastructures à la disposition de plus de 300 chercheurs appartenant aux laboratoires de la Collaboration Virgo, collaboration élargie, outre les pays membres, à la Hongrie et la Pologne.
D'autres communautés scientifiques (ASPERA, ISAPP, VESF) ont occasionnellement utilisé les infrastructures d'EGO pour l'organisation d'évènements spécifiques tels que des assemblées générales, forums et écoles de formation dans le domaine de la physique des astroparticules.

En outre, dans le cadre du programme de financement de l'Union Européenne FP7, EGO a été le coordinateur européen de l'étude de conception du Télescope Einstein, futur observatoire souterrain et cryogénique d'ondes gravitationnelles proposé comme instrument de troisième génération. EGO coordonne également d'autres projets dont le réseau de formation initiale GraWIToN pour la recherche et la formation dans le domaine de la détection des ondes gravitationnelles.

Ayant signé avec eux des accords spécifiques de collaboration, le Consortium EGO est aussi un partenaire privilégié d'organisations de recherche internationales : le CERN, la communauté scientifique LIGO, l'Institut pour la recherche sur les rayons cosmiques de l'Université de Tokyo, l'Institut de physique appliquée de l'Académie des sciences de Russie et l'Université d'Adélaïde en Australie.

EGO en bref

Lieu	Cascina, près de Pise (Italie) Site de l'Interféromètre Virgo Adresse: Via E. Amaldi, 56021 S. Stefano a Macerata, Cascina (PI), Italie
Site web	www.ego-gw.it
Logo	EGO EUROPEAN GRAVITATIONAL OBSERVATORY
Directeur actuel	Prof. Federico Ferrini (depuis 2011) Courriel : federico.ferrini@ego-gw.it
Personnel sur site	63 (membres du personnel et collaborateurs inclus), provenant d'Allemagne, de France, d'Italie, des Pays-Bas, du Royaume-Uniet deRussie