Présentation des développements au LMA pour l'optique quantique

Jerome Degallaix pour le LMA

Réunion Initiative quantique - 06/25

Présentation du laboratoire

- LMA = UAR du CNRS qui fait partie de l'IP2I (UMR)
- visibilité mondiale pour les traitements de surface (miroirs de grandes tailles haute-performance)
- réalisation de miroirs faibles pertes sur des géométries particulières pour l'optique quantique ($Ø \leq 25$ mm)

Les projets quantiques passés et présents

- financement sur AaP, ANR, exemples:

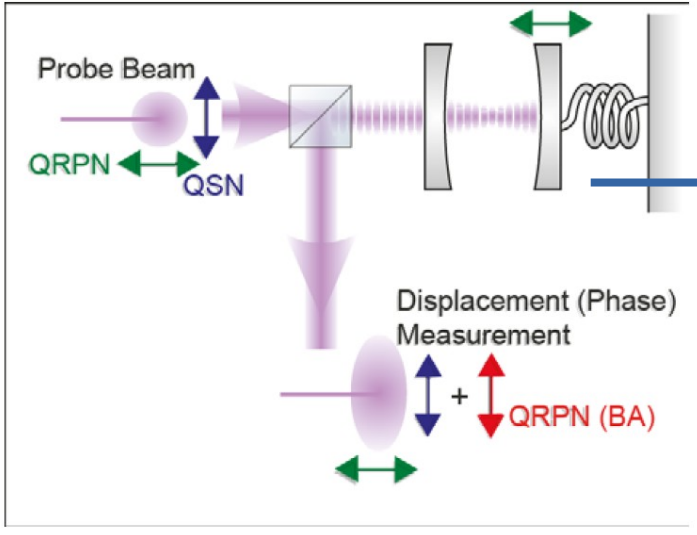
AaP	Acroyme	Nom	Partenaires
Blanc 2007	ARQUOMM	Atteindre le Régime Quantique d'un Oscillateur Mécanique Macroscopique	**LKB**, LMA, ONERA
Blanc 2011	MiNOToRe	Micro et nano-optomécanique en régime quantique	**LKB,** LMA, LPN, ONERA
Défis de tous les savoirs 2015	ExSqueez	Experimental Squeezing for Optomechanics	**LKB**, LMA, LAPP, LAL
ANR-JST-CREST 2018	Qfilters	Manipulation of an optomechanically coupled oscillator using a quantum filter	**LKB**, LMA, IJCLab + **University of Tokyo**, Kyoto
Capteurs quantiques 2023	FISSCO	Fiber Sensors for Squeezed Cryogenic Optomechanics	**LKB**, LMA

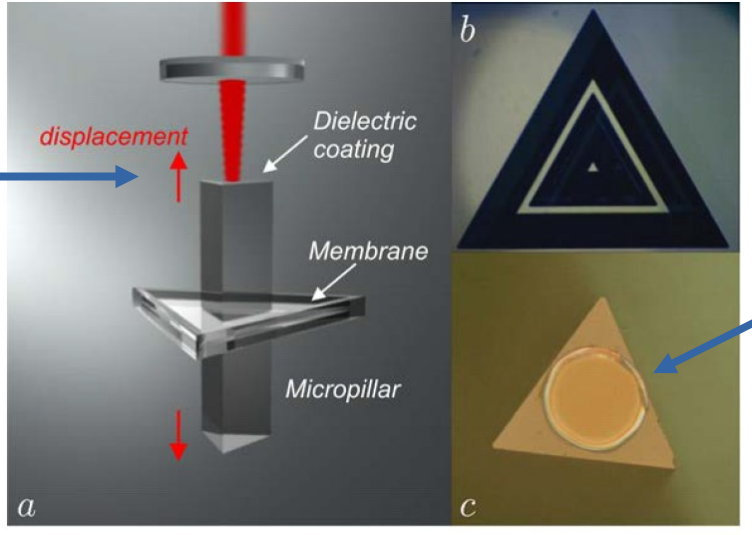
Notre contribution typique

- Traitements optiques faibles pertes pour les expériences opto-mécaniques (miroirs, lentilles, cristaux, membranes)
- Design de cavités, simulations des champs en résonance, définition des spécifications pour les optiques

Exemples de réalisations particulières

- Miroirs sur un micro-pilier lui même sur une membrane



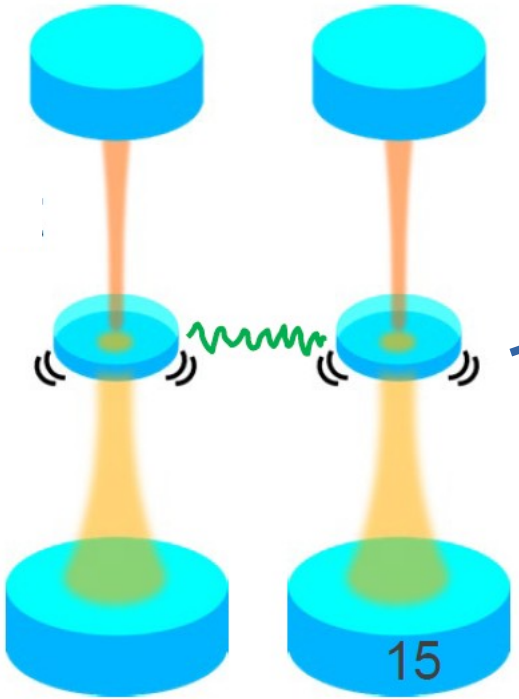


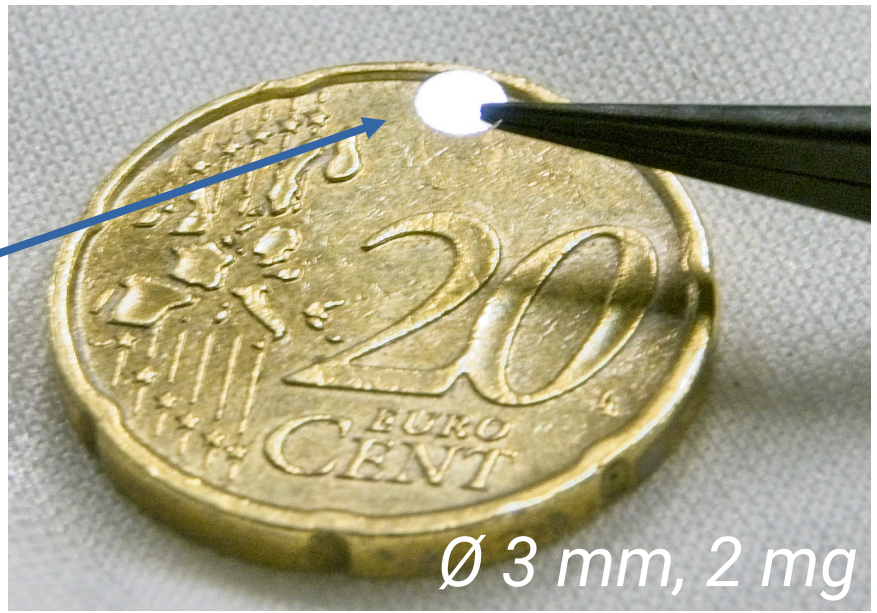
miroir
Ø 100 µm

Partenariat: LKB- ONERA-LMA

Miroirs pour la lévitation optique

- atteindre la limite quantique fondamentale en terme de déplacement
- léviter un miroir sous l'action du faisceau laser

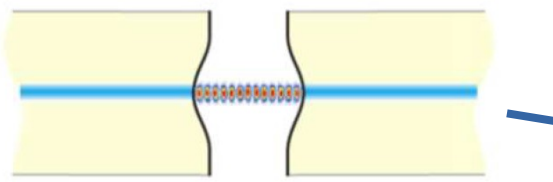


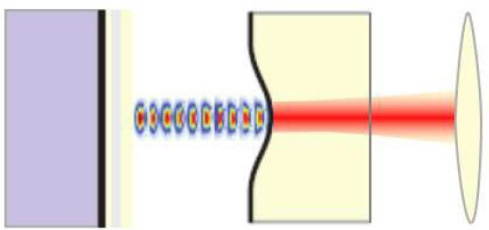


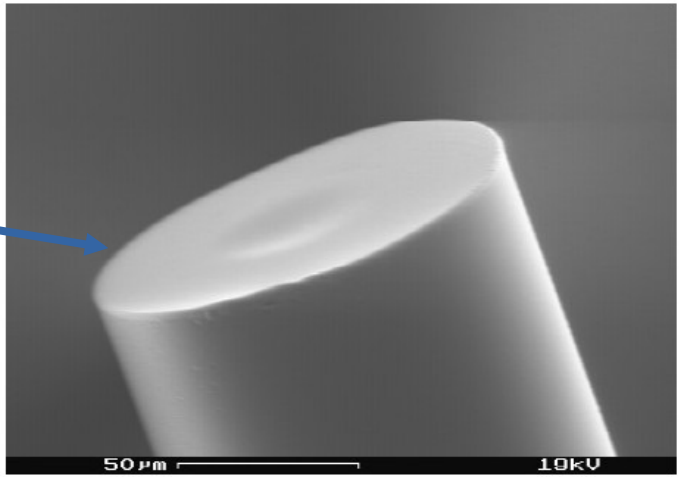
Partenariat: University of Tokyo

Traitement sur des fibres optiques (2025)

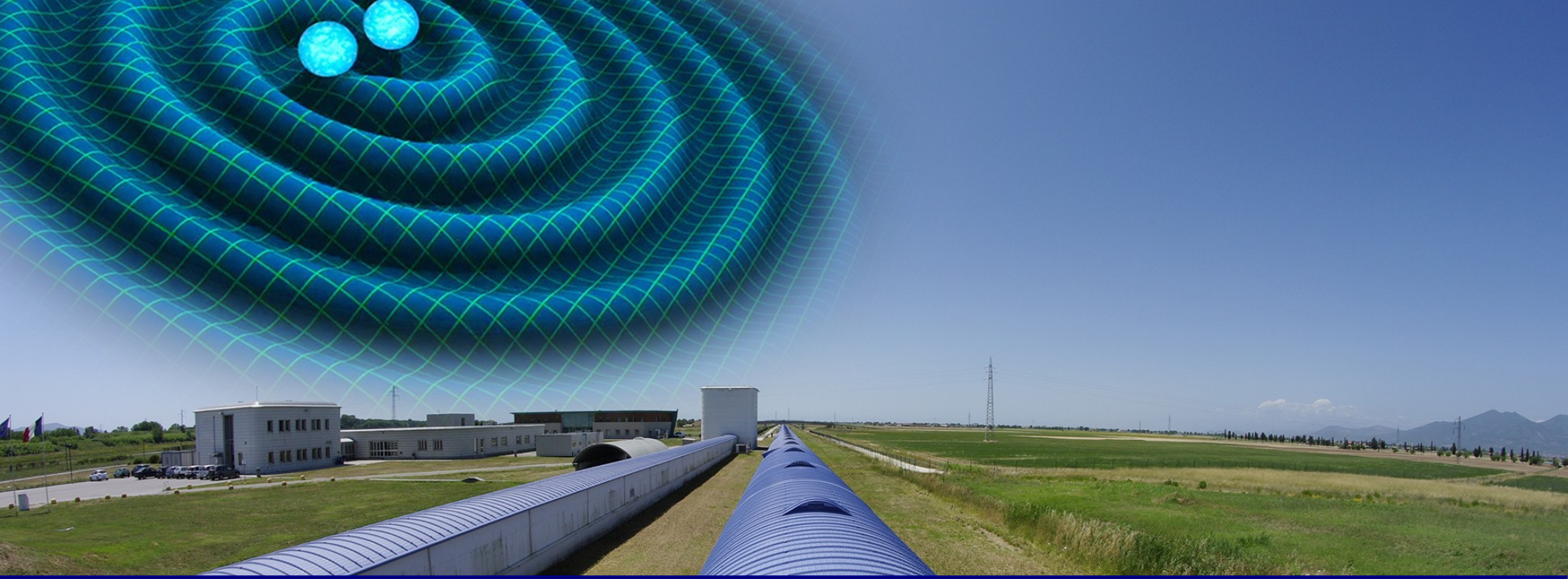
- But : faire des capteurs fibrés avec des cavités dont un miroir concave est le bout d'une fibre optique
- Conception d'une monture spéciale pour la machine de traitement







Ø 125 µm



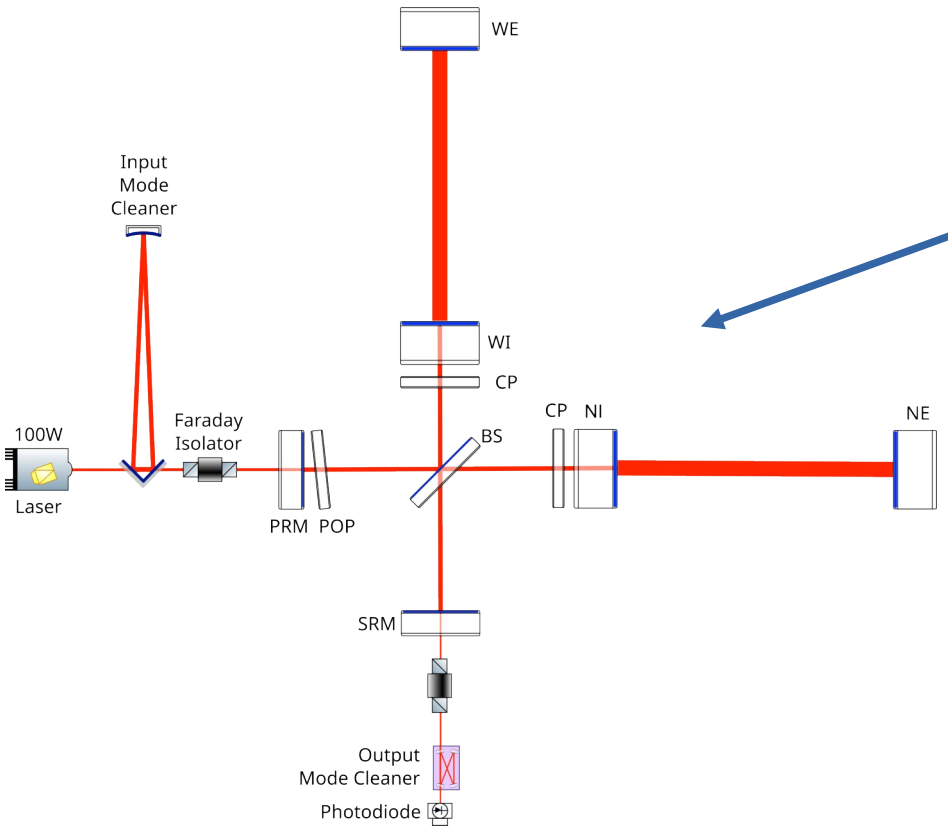
Etats comprimés pour les ondes gravitationnelles

Jerome Degallaix

Réunion Initiative quantique - 06/25

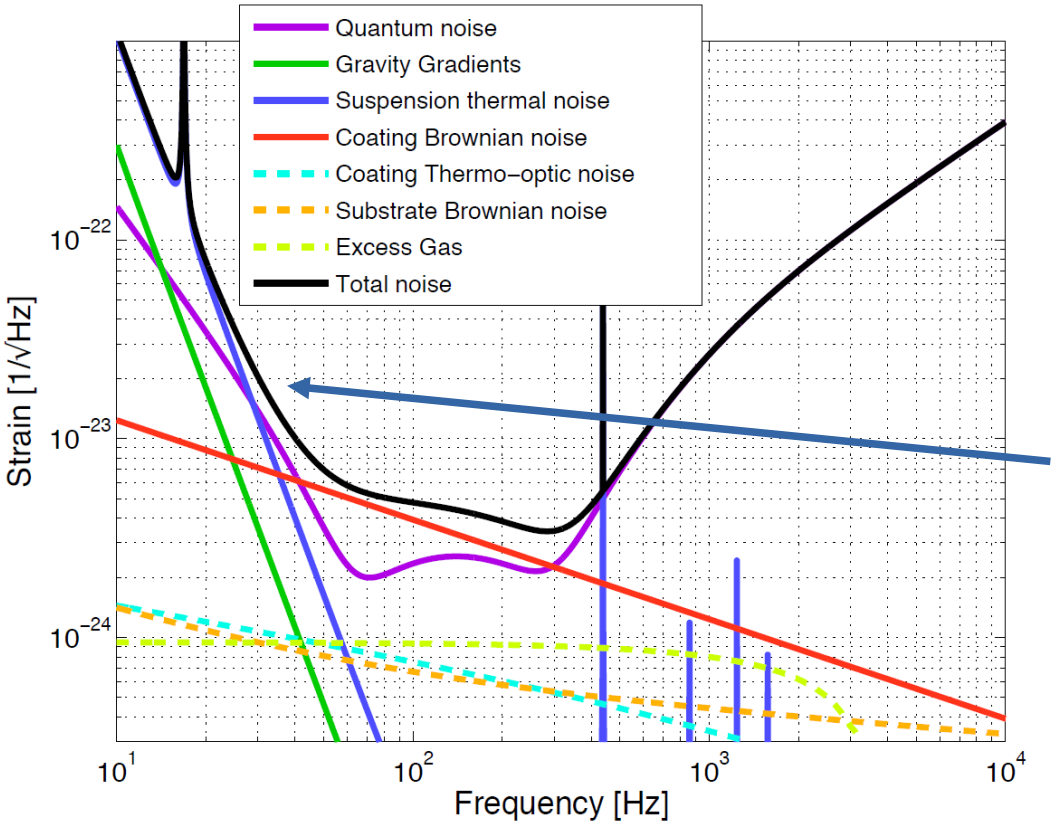
Un détecteur d'onde gravitationnelle

Un super interféromètre de Michelson

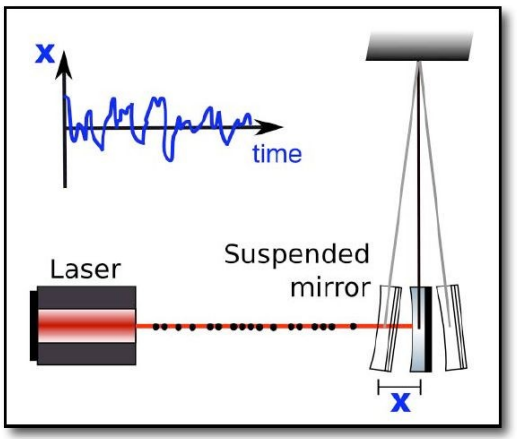


Limité par le bruit quantique de la lumière

Étude des bruit théoriques (Advanced Virgo)



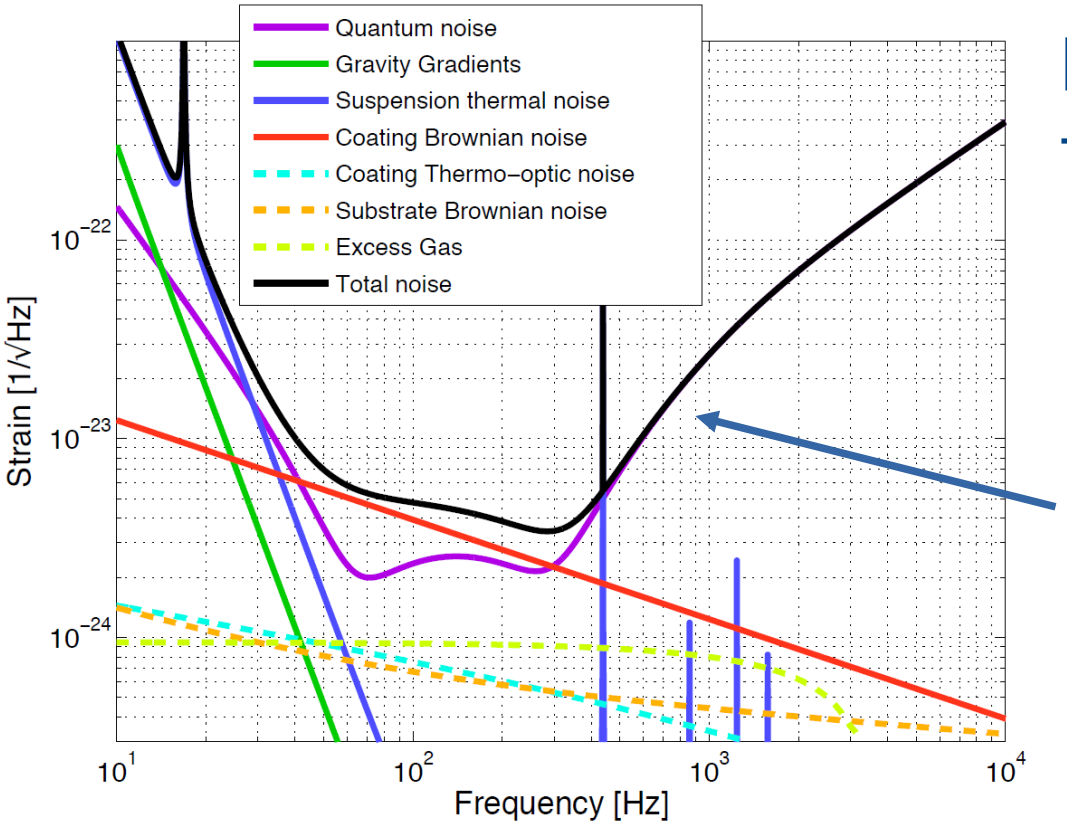
Bruit de pression de radiation à basse fréquence



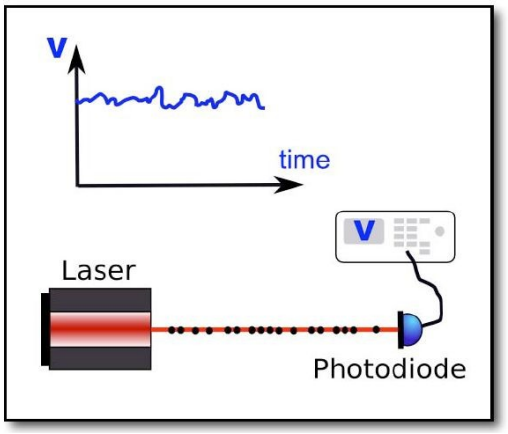
$$S_{RP}(\omega) = \frac{1}{mL\omega^2}\sqrt{\frac{4hP}{c\lambda}}$$

Limité par le bruit quantique de la lumière

Étude des bruit théoriques (Advanced Virgo)



Bruit de grenaille à haute fréquence



$$S_h^{min}(\omega) = \frac{1}{(2\pi L_+)^2} \frac{h_p \lambda c}{P_0}$$

Comment réduire le bruit quantique ?

Utilisation des états comprimés pour réduire une quadrature

Injecter en sortie du détecteur

Réduction du bruit de grenaille

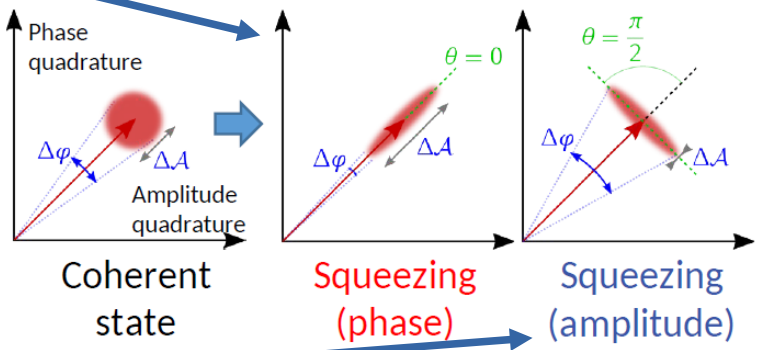
Réduction du bruit de pression de radiation

Take advantage of quantum properties of light

- Heisenberg uncertainty relation:

$$\Delta A \times \Delta \varphi \geq 1$$

- It is possible to reduce noise in one quadrature (phase or amplitude) at the cost of increasing noise in the other one



Démonstration grandeur nature à GEO600

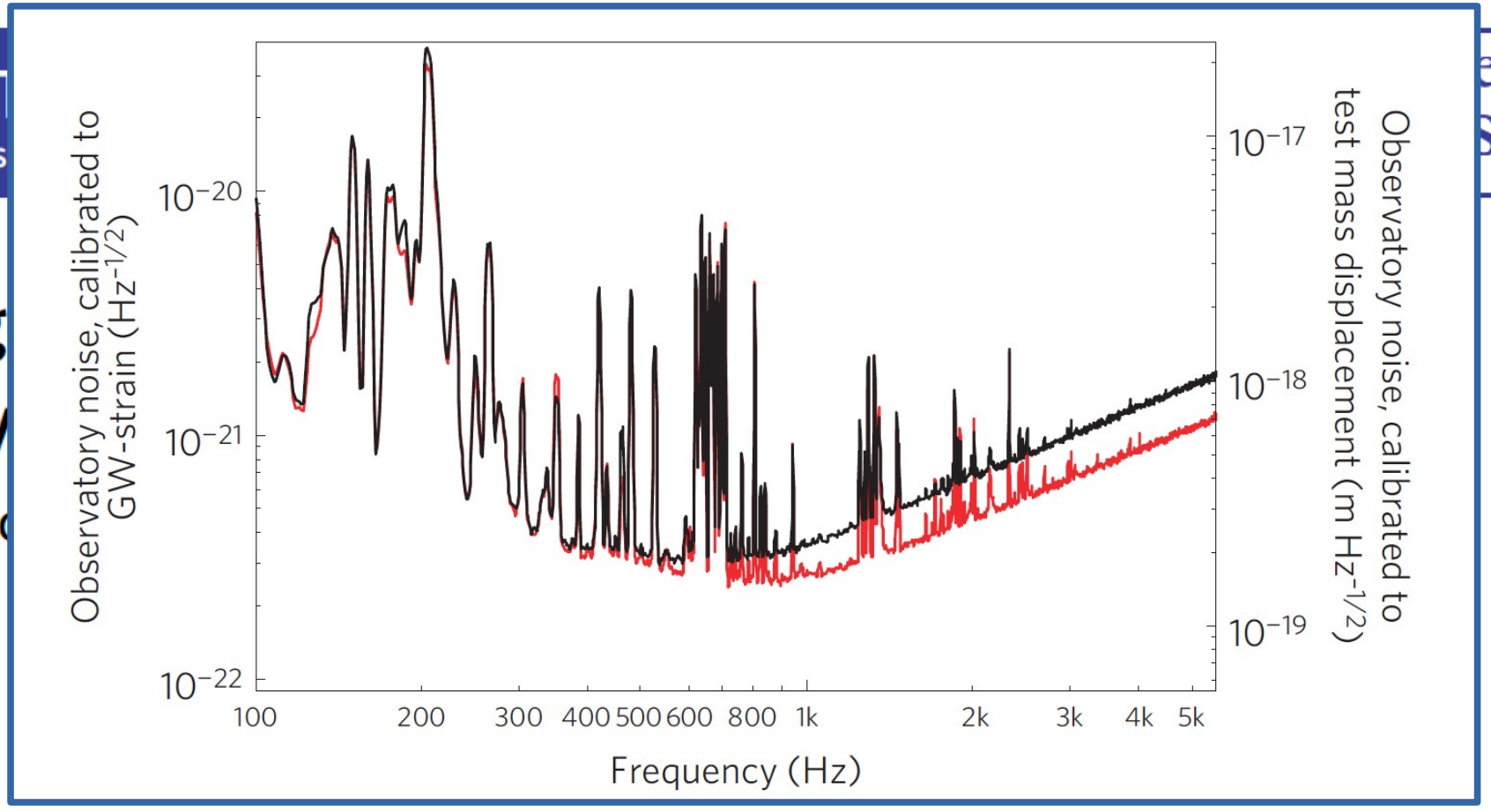
LETTERS
PUBLISHED ONLINE: 11 SEPTEMBER 2011 | DOI: 10.1038/NPHYS2083
nature physics

A gravitational wave observatory operating beyond the quantum shot-noise limit

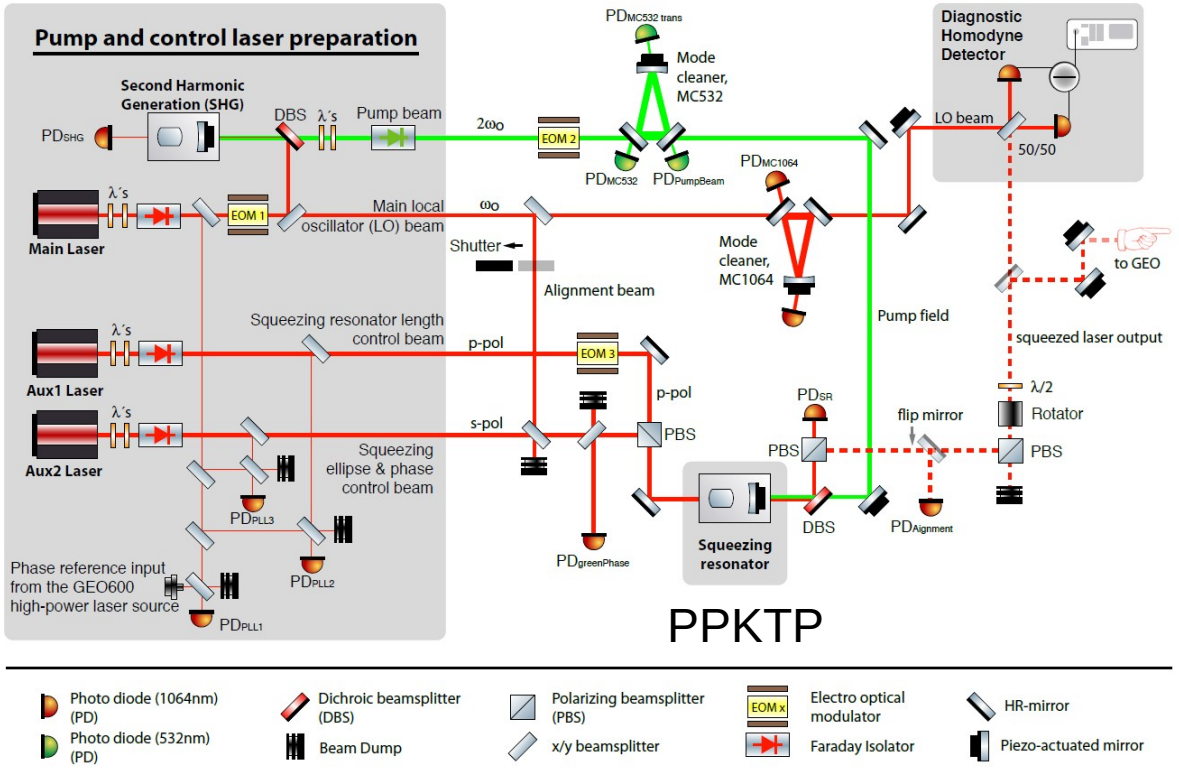
The LIGO Scientific Collaboration †*

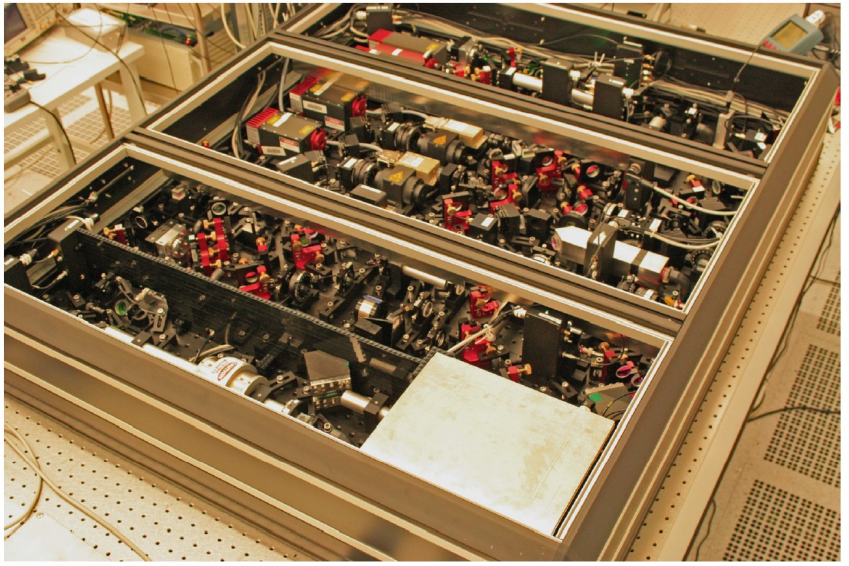
doi

Démonstration grandeur nature à GEO600



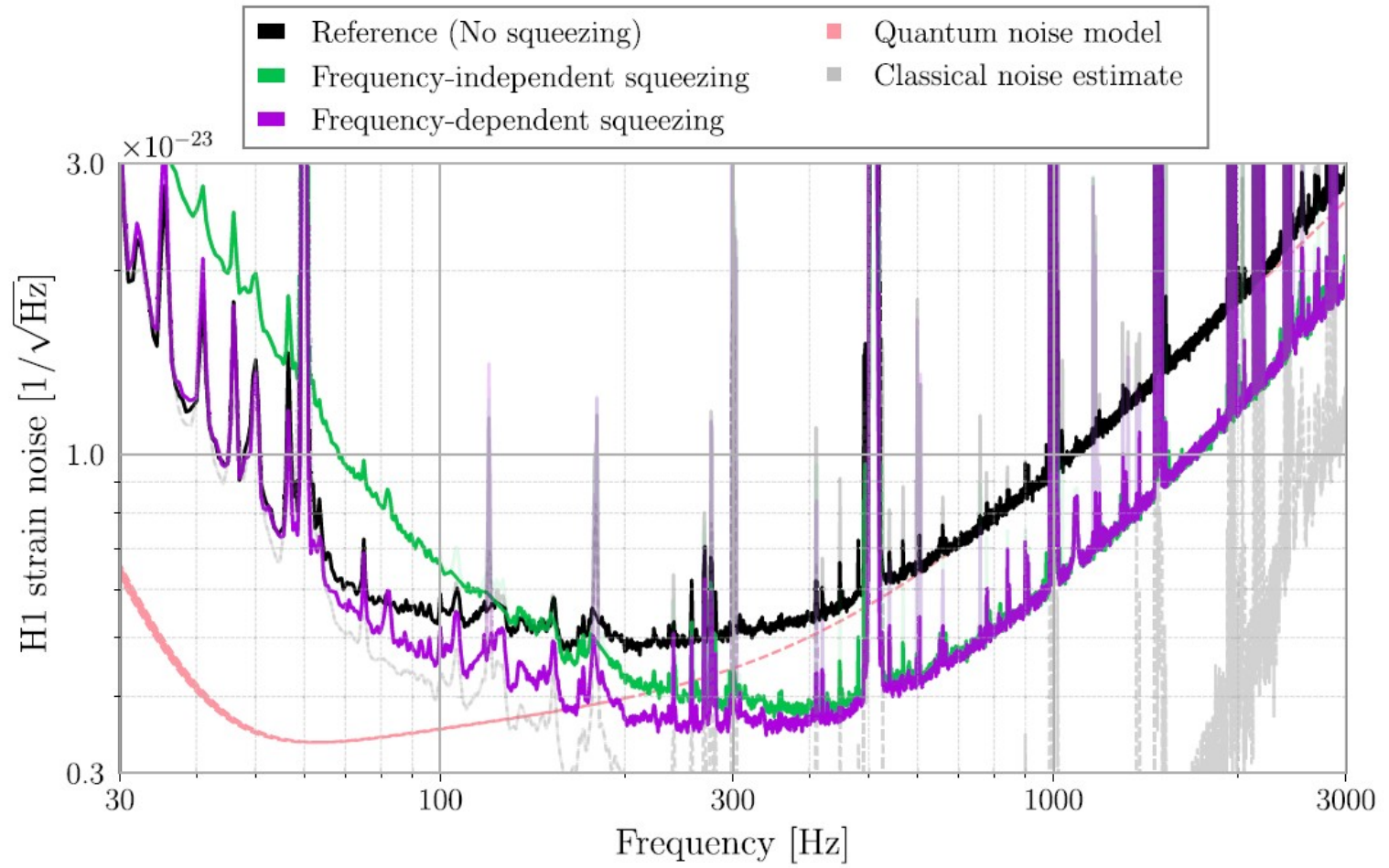
Le “squeezer”

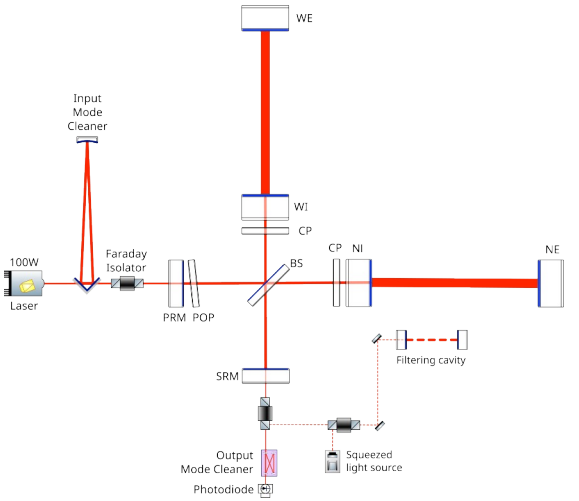




doi

États comprimés dépendant de la fréquence (2023)





doi

Et plus récement

Squeezing the quantum noise of a gravitational-wave detector below the standard quantum limit

WENXUAN JIA , VICTORIA XU , KEVIN KUNS, MASAYUKI NAKANO, LISA BARSOTTI, MATTHEW EVANS, NERGIS MAVALVALA, AND

MEMBERS OF THE LIGO SCIENTIFIC COLLABORATION Authors Info & Affiliations

SCIENCE • 19 Sep 2024 • Vol 385, Issue 6715 • pp. 1318-1321 • DOI: 10.1126/science.ado8069

doi

Conclusion

L’utilisation des états comprimés du vide est utilisé de manière régulière pour améliorer la sensibilité des détecteurs d’onde gravitationnelle.

Des améliorations sont toujours en cours pour exploiter au maximum cette technologie

(réduction des pertes optiques, techniques alternatives)