



**HAL**  
open science

## Caractérisation de l'amplificateur du système laser pré-stabilisé pour advanced Virgo

Frédéric Cleva, Jean-Pierre Coulon, Fabien Kéfélian, Mourad Merzougui

► **To cite this version:**

Frédéric Cleva, Jean-Pierre Coulon, Fabien Kéfélian, Mourad Merzougui. Caractérisation de l'amplificateur du système laser pré-stabilisé pour advanced Virgo. Colloque sur les Lasers et l'Optique Quantique, SFO, Jul 2018, Toulouse, France. hal-01801315

**HAL Id: hal-01801315**

**<https://hal.science/hal-01801315>**

Submitted on 28 May 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# CARACTERISATION DE L'AMPLIFICATEUR DU SYSTEME LASER PRE-STABILISE POUR ADVANCED VIRGO

Frédéric Cleva, Jean-Pierre Coulon, Fabien Kéfélian, et Mourad Merzougui

ARTEMIS, Université Côte d'Azur, Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS, Nice, France

[frederic.cleva@oca.eu](mailto:frederic.cleva@oca.eu)

## RÉSUMÉ

Advanced VIRGO est la version de seconde génération du détecteur d'onde gravitationnelle Virgo. Sa sensibilité est accrue d'un facteur 10, grâce notamment à l'augmentation de la puissance optique. Un amplificateur 95 W a été étudié et caractérisé. Ses performances mesurées sont compatibles avec les exigences du nouveau système laser pré-stabilisé.

**MOTS-CLEFS :** *Laser; Métrologie ; Amplificateur optique ; Ondes gravitationnelles*

VIRGO est un interféromètre laser de 3 km de bras pour l'enregistrement des ondes gravitationnelles dans la bande 10 Hz – 10 kHz. Advanced VIRGO aura une sensibilité de détection accrue d'un facteur 10 grâce au déploiement de nouvelles améliorations technologiques [1]. Advanced VIRGO a enregistré lors de sa première période de prise de donnée, une première onde gravitationnelle le 14 août 2017 simultanément avec les détecteurs LIGO [2]. Pour augmenter la sensibilité de détection, lors de la deuxième période de prise de données (fin 2018), un nouveau système laser pré-stabilisé est développé, permettant de doubler la puissance optique avec plus de 70 W en continu en amont du système d'injection dans l'interféromètre, tout en présentant les caractéristiques de bruit de puissance, bruit de fréquence, qualité de mode transverse, bruit spatial de pointé de faisceau et stabilité long terme de fonctionnement requises.

## 1. NOUVELLE STRUCTURE GENERALE DU SYSTEME LASER PRE-STABILISE

Le nouveau système laser pré-stabilisé d'Advanced VIRGO, émettant à 1064 nm, est constitué d'un laser de 17 W de puissance, suivi d'un amplificateur optique délivrant 95 W. Le laser de 17 W est verrouillé par injection optique et asservissement Pound-Drever-Hall sur un laser bas bruit de fréquence de 500 mW. Le faisceau en sortie de l'amplificateur est ensuite filtré spatialement grâce au passage dans une cavité Fabry-Perot triangulaire (PMC) asservie en longueur sur la fréquence du laser. L'ensemble du système est contrôlé en fréquence pour être asservi sur une cavité de filtrage suspendu de 140 m, et contrôlé en puissance grâce à un modulateur acousto-optique placé juste avant le PMC.

La partie du système « laser de 17 W verrouillé sur le laser bas bruit de 500 mW » est reprise de l'ancien système utilisé pour Virgo. Les nouveaux éléments du système sont l'amplificateur de 95 W, la cavité Fabry-Perot de filtrage, et l'ensemble du système de stabilisation de puissance.

## 2. ÉTUDE ET CARACTERISATION DE L'AMPLIFICATEUR OPTIQUE

L'amplificateur optique a été fabriqué par la société neoLASE. C'est le premier amplificateur de ce type testé pour la détection des ondes gravitationnelles. Il a fait l'objet d'une campagne d'étude et de caractérisation court et long terme au sein du laboratoire ARTEMIS entre mars et novembre 2017. L'amplificateur est constitué de quatre cristaux  $\text{Nd}^{3+}:\text{YVO}_4$  pompés longitudinalement par quatre diodes lasers à 878,7 nm à réseau de Bragg de volume émettant 50 W à 4,7 A. Avec une puissance d'entrée de 17 W, l'amplificateur délivre 95 W avec une pente de 1,25 W/W. Une mesure à long terme de la puissance sur plus de 2000 h a mis en évidence des fluctuations de 2,5 % (possiblement liées pour partie à des fluctuations de calibration avec les variations d'humidité de la pièce).

Le contenu modal en sortie d'amplificateur, mesuré à l'aide d'une cavité Fabry-Perot, est de typiquement 85 % de mode TEM 00. La puissance et la distribution transverse du faisceau de sortie dépendent fortement de la taille et de la position longitudinale du col du faisceau d'entrée à cause notamment des effets de lentilles thermiques dans les cristaux. Les fluctuations temporelles de position transverse et angulaire du faisceau ont été enregistrées par une paire de photodiodes à 4 quadrants. Les densités spectrales, normalisés respectivement par le waist et la divergence, sont, sur [10 Hz – 10 kHz], en dessous de  $10^{-3}$  (1 Hz/f)  $\text{Hz}^{-1/2}$ , inférieures de plus d'un ordre de grandeur aux spécifications pour Advanced VIRGO.

Les fluctuations rapides d'amplitude (Fig. 1 (a)) ont été mesurées par une paire de photodiode de 3 mm et 1 mm de diamètres pour couvrir la plage de fréquence 1 Hz – 100 MHz avec un plancher de bruit limité par le bruit de grenaille de 13 mA. Le bruit de puissance présente un niveau relativement élevé autour de 10 kHz probablement dû au bruit des sources de courant des diodes de pompe. A la limite des exigences d'Advanced VIRGO, cet excès pourra néanmoins être compensé par une optimisation de la bande de stabilisation de puissance grâce à l'actuation acousto-optique. Le bruit à haute fréquence est limité par le bruit de grenaille.

Le bruit de fréquence ajouté par l'amplificateur (Fig. 1 (b)) a été mesuré par une méthode différentielle comparant la phase optique de sortie et d'entrée de façon hétérodyne. La densité spectrale est inférieure à  $10^{-1}$   $\text{Hz}/\text{Hz}^{1/2}$  sur 1 Hz – 100 kHz exceptés quelques pics acoustiques entre 100 Hz et 1 kHz. Ce bruit additionnel est négligeable devant le bruit du laser maître de  $10^4$  (1 Hz/f)  $\text{Hz}/\text{Hz}^{1/2}$ .

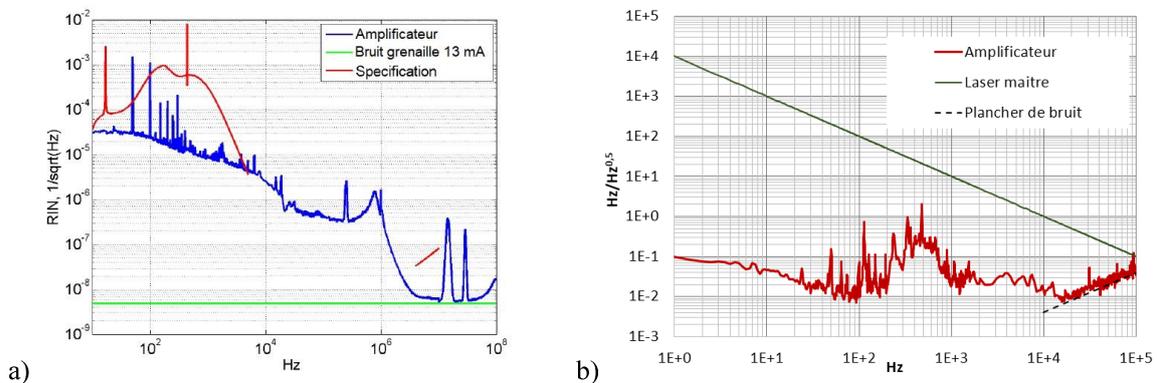


Fig. 1 : Densités spectrales de bruit (a) de puissance relative, (b) de fréquence additionnel de l'amplificateur

## CONCLUSION

La campagne de mesures menée sur cet amplificateur a permis de mettre en évidence une grande stabilité opérationnelle et des niveaux de bruits compatibles avec les exigences du nouveau système laser d'Advanced VIRGO. Cet amplificateur a été intégré avec succès sur site fin 2017 et l'optimisation du système laser complet est en cours.

## REMERCIEMENT

L'amplificateur optique a été acquis dans le cadre du projet Advanced VIRGO (CNRS, INFN)

## REFERENCES

- [1] F. Acernese et al., "Advanced VIRGO: a second-generation interferometric gravitational wave detector," *Class. Quant. Grav.*, vol. 32, pp. 024001, 2015
- [2] B. P. Abbott et al., "GW170814 : A three-detector observation of gravitational waves from a binary black hole coalescence," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 119, pp. 141101, 2017