

Les Lasers stabilisés

François Bondu

▶ **To cite this version:**

François Bondu. Les Lasers stabilisés. Optique Bordeaux 2016, Société Française d'Otique (SFO), Jul 2016, Bordeaux, France. hal-01343444

HAL Id: hal-01343444
https://hal.science/hal-01343444

Submitted on 12 Jul 2016

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.

LES LASERS STABILISÉS

François Bondu[1]

[1] *Institut de Physique de Rennes UMR CNRS 6251, Université Rennes 1, 35043 Rennes, France*

francois.bondu@univ-rennes1.fr

RÉSUMÉ

Les lasers stabilisés en fréquence sont les outils de métrologie qui transfèrent les meilleures exactitudes et/ou précisions. Une modélisation linéaire du circuit d'asservissement permet de prévoir les performances de bruits. Nous insisterons sur la conception du correcteur pour exploiter de bonnes références. Nous montrerons le rôle de la stabilisation de fréquence du laser dans l'interféromètre de détection d'ondes gravitationnelles Virgo et dans la génération optique d'ondes submillimétriques à bas bruit de phase.

MOTS-CLEFS : *stabilisation de fréquence, d'amplitude ; métrologie temps-fréquence*

1. INTRODUCTION

Un oscillateur (vibration atomique) ou un résonateur (cavité optique résonnante) sont caractérisés par un coefficient de qualité Q. Un laser asservi en fréquence a ainsi une densité spectrale de bruit relatif de fréquence ultime de l'ordre de $\tilde{\nu}/\nu = \alpha/(Q\sqrt{n})$, où α est une constante de l'ordre de l'unité, qui dépend du procédé d'interrogation et de sa mise en œuvre ; pour un résonateur, $\sqrt{n}$ est le nombre de photons par seconde et la limite est alors le bruit de photon ; pour une collection d'atomes, $\sqrt{n}$ est le nombre d'atomes interrogés par seconde, et la limite est alors le bruit de projection.

2. MODÉLISATION, RÉALISATION ET ÉVALUATION

Une boucle d'asservissement se représente par un schéma classique d'asservissement. Celui-ci permet le calcul de la performance finale, en prenant en compte les fonctions de transfert, le niveau attendu de la référence, les bruits électroniques, le bruit du laser non asservi. La simulation des deux quadratures simultanées, amplitude et phase, permet même de faire apparaître des couplages qui auraient sinon apparu comme des phénomènes non-linéaires. Cette modélisation permet d'étudier l'effet sur la stabilité de résonances mécaniques, du retard de boucle, de la conception du circuit correcteur. Pour profiter des performances intrinsèques d'une cavité, il faut que l'électronique de correction implémente des intégrateurs multiples. La stabilisation fait parfois appel à plusieurs actionneurs, l'un rapide mais de faible excursion, et l'autre de propriétés opposées. L'estimation de densités spectrales colorées doit faire l'objet d'une attention particulière. La performance évaluée par le signal d'erreur est insuffisante : seule une mesure extérieure permet de s'assurer de l'absence de phénomène parasite.

3. EXEMPLES D'APPLICATIONS

Une onde gravitationnelle module la fréquence relative de résonance d'une cavité Fabry-Perot. Une cavité seule ne permet pas la détection, le bruit intrinsèque du laser couvrirait le signal. Dans un montage de cavités dans un interféromètre de Michelson, le laser est stabilisé sur la fréquence moyenne, tandis que le signal d'onde gravitationnelle paraît sur la différence de fréquence, profitant de la nature tensorielle de l'onde. Le défaut de contraste permet la réjection du bruit restant de la fréquence du laser : les spécifications sur les défauts de surface du miroir sont alors très fortes. Les lasers stabilisés sont des sources très prometteuses de génération optique d'ondes submillimétriques à très bas bruit de phase. Nous montrerons les résultats pour des lasers solides et pour des lasers semi-conducteurs.