



Journée du Club
IEMN
Villeneuve d'Ascq
14 Juin 2012



Télémétrie laser de haute exactitude et haute résolution par modulation de porteuse à 20 GHz

Duy Hà PHUNG, Alain BRILLET et Michel LINTZ
ARTEMIS, Univ. Nice-Sophia, Obs. Côte d'Azur et CNRS,
Bd de l'Observatoire, 06304, Nice Cedex 04

Christophe ALEXANDRE,
CEDRIC/LAETITIA, CNAM
292 Rue Saint Martin 75141 Paris Cedex 03

Le vol en formation de satellites et l'alignement des collisionneurs de particules sont deux domaines où la mesure de distance doit être faite avec une haute résolution et une haute exactitude. L'interférence hétérodyne utilisée pour les mesures de déplacement atteint des résolutions sub-nanométriques, mais il s'agit d'une mesure de phase: elle renvoie une information télémétrique repliée sur l'intervalle $[0, \lambda_{opt}]$ où λ_{opt} est la longueur d'onde du laser monofréquence utilisé. Pour lever cette ambiguïté, la mesure de distance peut mettre en œuvre plusieurs échelles de longueur différentes.

Dans ce travail, afin d'atteindre des résolutions sub-nanométriques dans la mesure de distance, nous exploitons une mesure d'interférence à deux modes: par la mesure de la phase et de l'amplitude d'une interférence à deux modes, nous parvenons à mettre en œuvre deux échelles de longueur: la longueur d'onde optique ($1,542\mu\text{m}$) et la longueur d'onde synthétique $\Lambda = c/F$ associée à la fréquence modulation de porteuse $F = 20$ GHz. L'ambiguïté $L \Leftrightarrow L + k\lambda_{opt}$ (où L est la longueur du chemin aller-retour à la cible) est alors remplacée par une ambiguïté $L \Leftrightarrow L + k\Lambda$, bien plus facile à lever (par exemple par une mesure de temps de vol) puisque $\Lambda = 15\text{mm}$.

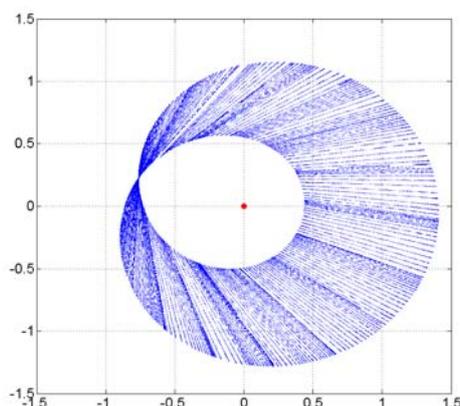


Figure 1. Le signal d'interférence à deux modes, tracé dans le plan complexe, lorsque la cible est déplacée de façon continue sur environ 7.5mm. Chaque "piquant" correspond à une frange de l'interférence optique. Un tour complet correspond à 10^4 piquants. Dans l'enregistrement ci-dessus, la lenteur du transfert des données empêchait d'enregistrer les 10^4 piquants: les zones blanches correspondent aux moments où le transfert bloque l'enregistrement des données. Le système final utilise un transfert rapide (UDP-IP) et non une liaison série.

Nous présentons dans ce poster le montage réalisé, sur lequel nous mesurons un chemin d'environ 8 mètres, par la mesure de la phase et de l'amplitude du signal d'interférence à deux modes à 20GHz. Le signal (Fig. 1) est complexe et son exploitation requiert, pour en extraire séparément la phase optique $2\pi L / \lambda_{opt}$ et la phase synthétique $2\pi L / \Lambda$,

- que la fréquence optique soit balayée de façon contrôlée dans une séquence rapide
- que la précision sur la mesure de phase et d'amplitude soit bien inférieure au rapport Λ/λ_{opt} , c'est-à-dire à 10^4 , en exactitude et en bruit, sur ce signal opto-microonde à 20 GHz..

L'exactitude de 10^{-4} de la mesure du signal suppose que

- i- les parasites de nature optique (réflexions parasites, défauts de polarisation,...) soient réduits sous la barre des $(10^{-4})^2=10^{-8}$,
- ii- les défauts de nature électronique soient réduits ou corrigés, bien en dessous de 10^{-4} .

Nous disposons de l'expression analytique du signal, ce qui nous permet d'identifier les défauts. Les interférences optiques ont conduit à un choix d'optiques spécifiques pour parvenir à la réjection nécessaire. Mais nous avons également constaté que le défaut, attendu, de couplage phase-amplitude (AM-PM) dans la partie micro-onde présentait des caractéristiques dynamiques (effets retardés) qui le rendaient difficile à corriger dans l'exploitation télémétrique des données enregistrées. Le poster intitulé "**Couplage amplitude-phase dans les photodiodes à grande bande passante: caractérisation statique et dynamique; échauffement de la jonction**", (mêmes auteurs), présente la caractérisation que nous avons menée, et montre notamment que le choix de la tension de polarisation de la photodiode est crucial pour réduire ces effets.

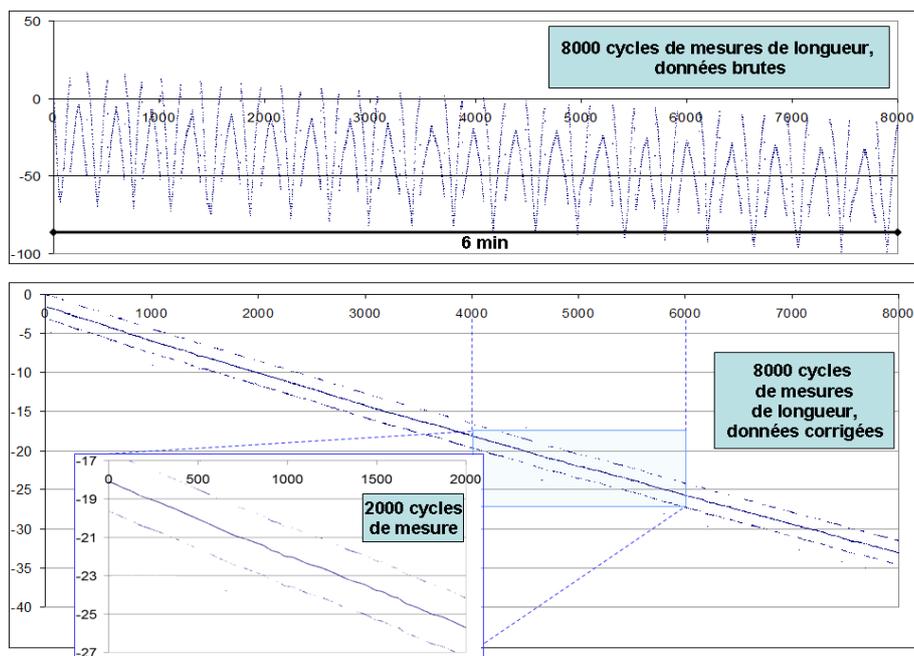


Figure 2. Déplacement de $30\mu\text{m}$ en 6 min de la cible, enregistré en fonction du temps: (a): la procédure exploite les données brutes de l'interférence bi-mode. (b): avec les données corrigées.

La Fig. 2 montre l'enregistrement du déplacement de la cible en fonction du temps. La mesure télémétrique brute est affectée au niveau de $70\mu\text{m}$ par les défauts électroniques (diaphonie, couplage AM-PM, saturation). La prise en compte de ces défauts permet d'obtenir une mesure de distance avec un bruit court terme de quelques nm, lié aux perturbations acoustiques dans le laboratoire. Une résolution ultime attendue est de 12pm sur 100ms , et 100pm sur $100\mu\text{s}$. Par rapport à la méthode exploitant une source incohérente [1], cela représente une amélioration par environ trois ordres de grandeur, au prix d'une montage et d'une procédure plus complexes. Les 20 à 25% de points aberrants ($\pm\lambda_{\text{opt}}$ sur la mesure de la longueur de la voie mesure, $\pm\lambda_{\text{opt}}/2$ sur la distance) ne sont plus que 6% si on les effets "mémoire" sont réduits, par exemple en réduisant la vitesse d'acquisition.

Références :

[1] C. Courde, M. Lintz, A. Brillet: *Vers une exactitude sub-micronique dans la mesure des distances kilométriques sans interférométrie*, Instrumentation, Mesure, Métrologie, **10** (2010), p. 81.