

UTILISATION DE LA CONVERSION DE FRÉQUENCE POUR L'IMAGERIE STELLAIRE HAUTE RÉOLUTION

L. Grossard, D. Ceus, J.-T. Gomes, R. Baudoin, P. Darré, L. Szemendera, L. Delage, F. Reynaud

Xlim, Département Photonique, Université de Limoges, UMR CNRS 7252, 123 Av. Albert Thomas, 87060 Limoges CEDEX, France.

ludovic.grossard@unilim.fr

RÉSUMÉ

Nous proposons une méthode originale mariant l'imagerie haute résolution en astronomie et l'optique non linéaire. Cette technique offre une solution originale pour étudier des objets froids dans le moyen et lointain infrarouge. L'exposé présente les études expérimentales menées en laboratoire pour valider le concept proposé. Une application de cette technique sur site est en cours de réalisation.

MOTS-CLEFS : *imagerie haute résolution, optique non linéaire, interférométrie.*

1. INTRODUCTION

La synthèse d'ouverture est une technique d'imagerie haute résolution qui permet de dépasser les performances des grands télescopes monolithiques en terme de résolution angulaire. La méthode est une extension de l'expérience des fentes d'Young, et consiste à utiliser un réseau de télescopes et de combiner les faisceaux lumineux sous forme d'interférences afin de déterminer la distribution d'intensité angulaire de la source.

La figure 1 représente un interféromètre où deux télescopes sont distants d'une base b . Les flux collectés par chaque télescope sont acheminés vers une station de recombinaison, pour effectuer un mélange interférométrique. Une ligne à retard est utilisée pour travailler proche de la différence de marche nulle.

Cette technique ne donne pas un accès direct à une image de l'objet. Les franges d'interférence ont une visibilité (contraste et phase) directement reliée au spectre spatial de l'objet. Une image approchée peut alors être reconstruite en utilisant des algorithmes itératifs.

2. PRINCIPE DE L'INTERFÉROMÈTRE À CONVERSION DE FRÉQUENCE

L'étude des systèmes froids (objets astrophysiques en début ou fin de vie) nécessite de travailler dans les bandes spectrales moyen infrarouge et infrarouge lointain (de 3 à 15 μm). Depuis 2006, nous proposons une nouvelle approche qui consiste à décaler le spectre en fréquence, et ainsi bénéficier des composants télécoms d'une part, et des détecteurs (Si et d'InGaAs) très performants dans le visible et le proche infrarouge d'autre part [1].

La transposition en fréquence est réalisée par un processus optique non linéaire de somme de fréquence [2] du signal à analyser avec une source intense (laser de pompe) apportant l'énergie nécessaire au processus (figure 2). La méthode est comparable aux mélangeurs couramment utilisés en radio et en microonde. Cependant, c'est un processus qui a l'avantage d'être sans bruit, puisque la présence simultanée d'un photon signal et d'un photon de pompe est nécessaire pour que la somme de fréquence ait effectivement lieu [3].

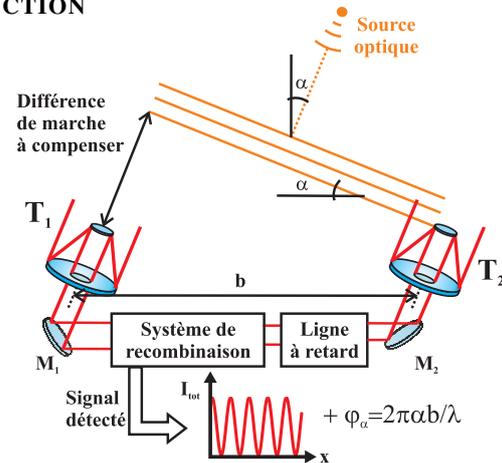


FIGURE 1 : Schéma d'un interféromètre à deux télescopes.

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Nous avons choisi dans un premier temps de travailler avec des signaux optiques « science » situés dans la bande H, autour de 1550 nm, afin de mener les premières études de principe. L'utilisation de lasers de pompe ayant une longueur d'onde de l'ordre du micron permet de générer un rayonnement converti dans le visible, autour de 630 nm.

Plusieurs études en laboratoire nous ont permis de démontrer la conservation de la cohérence temporelle [4] et de la cohérence spatiale [5] des champs lors du processus de somme de fréquence. Nous avons également montré la compatibilité de l'interféromètre à somme de fréquences avec un fonctionnement en mode de comptage de photons [6], et avons analysé avec succès la cohérence spatiale d'un corps noir [7], démontrant ainsi l'efficacité du dispositif avec des sources thermiques possédant moins d'un photon par mode spatio-temporel.

Afin de confronter notre méthode expérimentale avec une observation sur le ciel, une étude en flux a été réalisée au Mauna Kea (Hawaï) et actuellement, dans un cadre interférométrique, sur l'instrument CHARA situé au Mont Wilson en Californie. Nous travaillons actuellement sur un élargissement de la bande spectrale convertie par nos instruments, ainsi qu'une extension de cette technique au domaine infrarouge moyen et lointain.

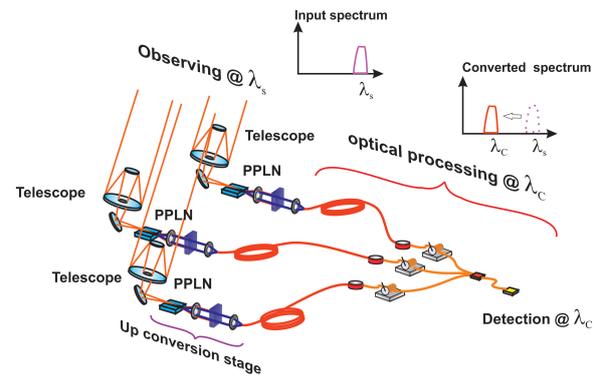


FIGURE 2 : Schéma d'un interféromètre à conversion de fréquence

CONCLUSION

Les performances des fibres optiques silice dans la bande télécom (bande H) permet d'envisager des liaisons kilométriques entre les télescopes constituant le réseau, donnant alors accès à des résolutions angulaires difficilement accessibles avec des techniques classiques. L'extension au moyen et lointain infrarouge grâce à notre nouvelle méthode utilisant les processus non linéaire de somme de fréquences permet d'envisager des études jusque là inaccessibles pour les objets astrophysiques froids.

RÉFÉRENCES

- [1] F. Reynaud, L. Delage, L. Bouyeron, L. Grossard, D. Ceus, J. Gomes, and R. Baudoin, "Méthodes innovantes pour l'imagerie astronomique haute dynamique et haute résolution : les hypertélescopes temporels et la conversion de fréquence des rayonnements lumineux," *Séminaire invité au Collège de France*, 2013.
- [2] R. W. Boyd, *Nonlinear optics*. Academic press, 2003.
- [3] W. H. Louisell, A. Yariv, and A. E. Siegman, "Quantum Fluctuations and Noise in Parametric Processes. I." *Phys. Rev.*, vol. 124, no. 6, pp. 1646–1654, Dec. 1961.
- [4] L. Del Rio, M. Ribiere, L. Delage, and F. Reynaud, "First demonstration of a temporal coherence analysis through a parametric interferometer," *Optics Communications*, vol. 281, no. 10, pp. 2722–2726, May 2008.
- [5] S. Brustlein, L. Del Rio, A. Tonello, L. Delage, F. Reynaud, H. Herrmann, and W. Sohler, "Laboratory Demonstration of an Infrared-to-Visible Up-Conversion Interferometer for Spatial Coherence Analysis," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 100, no. 15, p. 153903, Apr. 2008.
- [6] D. Ceus, L. Delage, L. Grossard, F. Reynaud, H. Herrmann, and W. Sohler, "Contrast and phase closure acquisitions in photon counting regime using a frequency upconversion interferometer for high angular resolution imaging," *MNRAS*, Feb. 2013.
- [7] J.-T. Gomes, L. Delage, R. Baudoin, L. Grossard, L. Bouyeron, D. Ceus, F. Reynaud, H. Herrmann, and W. Sohler, "Laboratory Demonstration of Spatial-Coherence Analysis of a Blackbody through an Up-Conversion Interferometer," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 112, no. 14, p. 143904, Apr. 2014.