



HAL
open science

Réduction du speckle sur un système d'imagerie hyperspectrale dans le moyen infrarouge

Maroun Hjeij, Martin Lepers, Ronan Le Page, Luiz Poffo, Bastien Billiot,
Jean-Marc Goujon, Pascal Besnard

► **To cite this version:**

Maroun Hjeij, Martin Lepers, Ronan Le Page, Luiz Poffo, Bastien Billiot, et al.. Réduction du speckle sur un système d'imagerie hyperspectrale dans le moyen infrarouge. OPTIQUE Dijon 2021, Jul 2021, Dijon, France. hal-03439228

HAL Id: hal-03439228

<https://hal.science/hal-03439228>

Submitted on 22 Nov 2021

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.

REDUCTION DU SPECKLE SUR UN SYSTEME D'IMAGERIE HYPERSPECTRALE DANS LE MOYEN INFRAROUGE.

Maroun Hjeij¹, Martin Lepers¹, Ronan Le Page¹, Luiz Poffo¹, Bastien Billiot², Jean-Marc Goujon¹, Pascal Besnard¹

¹Univ Rennes1, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082, 6 Rue de Kerampont, Lannion, France, 22300

²Agro Innovation International-CMI, 18 Avenue Franklin Roosevelt, Saint-Malo, France, 35400

maroun.hjeij@univ-rennes1.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons un système d'imagerie hyperspectrale active basée sur l'illumination par un laser à cascade quantique largement accordable dans l'infrarouge moyen. Une méthode de réduction du « *speckle* », présent dans nos images acquises, est développée.

MOTS-CLEFS : *Imagerie hyperspectrale infrarouge ; Laser à Cascade Quantique ; balayage ; speckle.*

1. INTRODUCTION

Grâce à la récente disponibilité des lasers à cascade quantiques (QCL - Quantum Cascade Laser) largement accordables, nous avons proposé un système d'imagerie hyperspectrale active fonctionnant dans l'infrarouge moyen (MIR) [1]. L'utilisation d'un laser comme source d'éclairage d'une scène implique une illumination monochromatique et cohérente, qui génère du « *speckle* » [2]. Ce dernier est gênant pour accéder à l'information spectrale de chaque pixel. Après avoir présenté le banc d'imagerie hyperspectrale utilisé dans le domaine du moyen infrarouge, nous exposerons le « *speckle* » et ses caractéristiques observées en fonction de la longueur d'onde, ainsi que sa réduction par un balayage spatial utilisant un système de miroirs galvanométriques.

2. BANC D'IMAGERIE HYPERSPECTRALE

Notre banc utilise un QCL pour l'éclairage de la scène. Il fonctionne en mode continu (CW), avec une largeur de raie inférieure à 10 nm entre 3,9 μm et 11 μm . Une série de miroirs dorés muni d'un système galvanométrique permet de guider le faisceau laser en espace libre pour illuminer l'échantillon d'une scène. Le flux réfléchi est quantifié par les détecteur matriciels fonctionnant dans les bandes spectrales différentes. Ce banc est schématisé sur la figure (1).

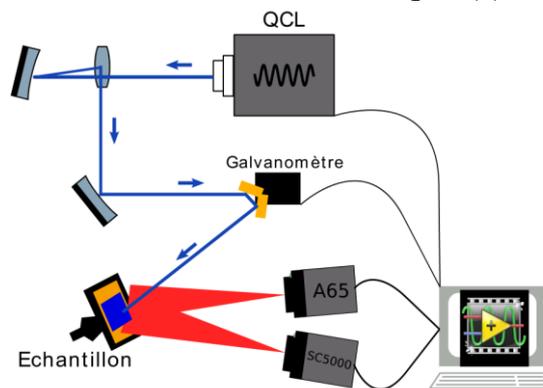


Figure 1: Banc optique.

Le spectre est obtenu à partir de la réflectivité de l'échantillon, en normalisant l'image acquise sur l'échantillon par la figure d'intensité spatiale d'éclairage, mesurée sur une surface de référence.

Une soustraction du fond thermique est effectuée systématiquement. Le système d'éclairage, balayage (spatial et spectral) et d'acquisition est automatisé.

3. LA CONTRIBUTION DU SPECKLE

Dans ce processus, la présence de speckle est préjudiciable puisque celui-ci intervient à la fois sur les images de référence et celles de l'échantillon. Il existe différentes techniques dans la littérature, qui utilisent la transparence diffuse des matériaux pour réduire le speckle ; ces techniques sont incompatibles avec une étendue spectrale de $3\mu\text{m}$ à $11\mu\text{m}$. De même, les techniques de post-traitement numérique risqueront d'altérer la résolution spatiale. Nous proposons de diminuer la taille du faisceau laser, car le speckle est directement proportionnel à la surface d'interférence. Pour couvrir la même surface d'éclairage, un système galvanométrique à balayage XY sur deux miroirs dorés sera utilisé. Aussi, en raison de la différence d'angle d'incidence des faisceaux laser réfléchis, le vecteur de réflexion varie dans le temps. Une réduction supplémentaire du « *speckle* » serait ainsi due à la différence des angles d'illumination. Cette méthode nécessite de synchroniser le détecteur avec la figure de balayage, ici de type Lissajous, pour garantir la reproductibilité de la figure. Le résultat est un éclairage plus uniforme en intensité sur une scène comme montré sur la figure 2 [3], [4].

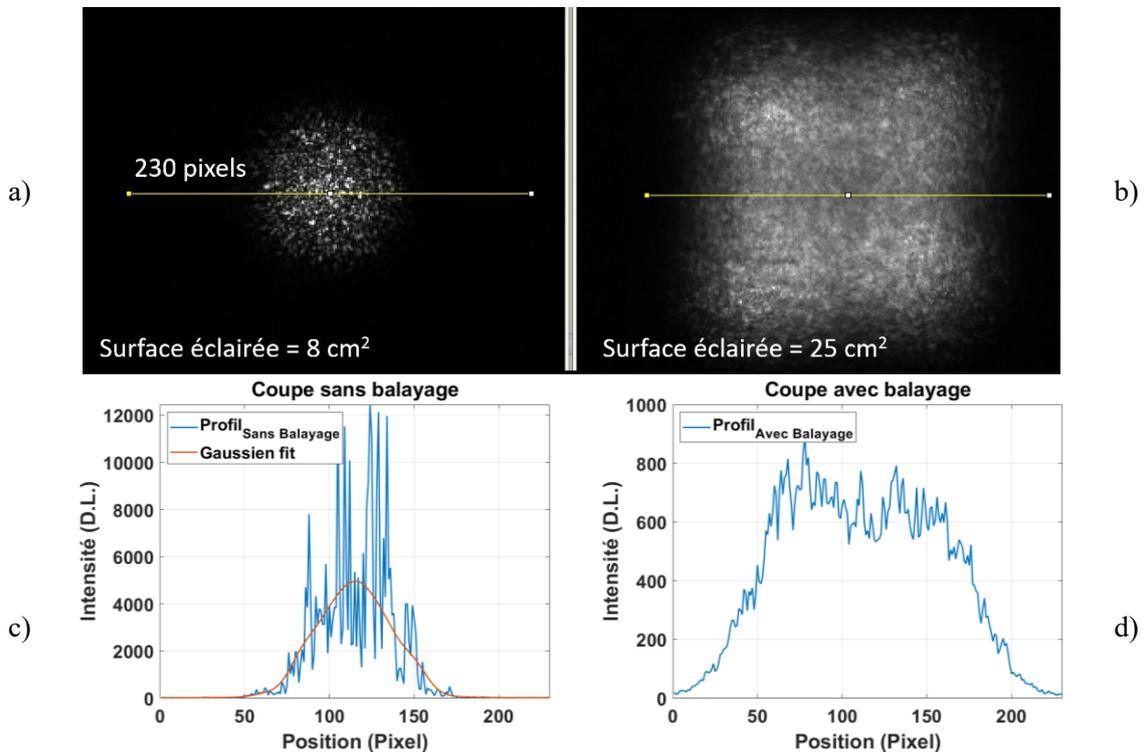


Figure 2: Speckle présent sur la surface de l'échantillon à $8\mu\text{m}$ (a) Faisceau gaussien. (b) Balayage surface. (c) Profil sans balayage et son interpolation gaussienne. (d) Profil avec balayage.

Pour quantifier la réduction du speckle, une même coupe a été prise sur la zone d'intérêt, sur les deux images acquises sans et avec balayage, nous comparons leur contraste spatial. Ce paramètre s'exprime suivant l'équation (1) :

$$C = \frac{\sqrt{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}}{\langle I \rangle} \quad (1)$$

Avec : $I(x,y)$ l'intensité du pixel considéré, et $\langle \cdot \rangle$ représente la valeur moyenne spatiale calculée sur la zone d'intérêt, et $\sqrt{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}$ l'écart type moyen. Au préalable, le faisceau gaussien bruité a été normalisé avec son interpolation gaussienne pour égaliser l'intensité moyenne spatiale.

La figure (3) représente la variation du contraste du « speckle », sur une gamme de longueur d'onde allant de 7,5 μm jusqu'à 10,57 μm . Nous pouvons observer une relative stabilité du contraste avec la longueur d'onde, autour de 75% pour le faisceau gaussien seul. Le balayage occasionne une réduction importante du contraste en le réduisant d'un facteur 4 à 5, contraste qui reste stable en fonction de la longueur d'onde.

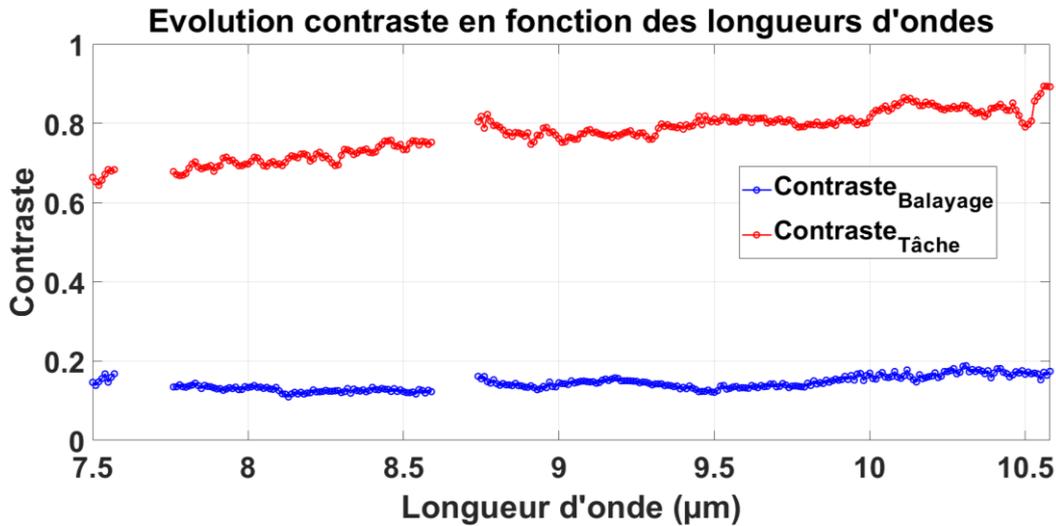


Figure 3: Contraste en fonction de la longueur d'onde pour un éclairage avec et sans balayage.

4. CONCLUSION

Un système d'imagerie active hyperspectrale est décrit dans la gamme 7 – 11 μm . Nous analysons une technique standard de réduction de l'effet « speckle » par balayage du faisceau d'éclairage actif, en caractérisant la clarté de l'image, l'uniformité de l'éclairage laser. Ce débruitage des images corrompues par le « speckle » est à mettre en regard de la taille du grain et de la résolution spatiale souhaitée dans le traitement des caractéristiques spectrales et spatiales de l'échantillon à analyser.

5. RÉFÉRENCES

- [1] C. E. Fakir, M. Hjeij, R. L. Page, L. Poffo, B. Billiot, P. Besnard et J-M. Goujon, « Active hyperspectral mid-infrared imaging based on a widely tunable quantum cascade laser for early detection of plant water stress », *OE*, vol. 60, n° 2, p. 023106, févr. 2021, doi: 10.1117/1.OE.60.2.023106.
- [2] J. W. Goodman, *Speckle Phenomena in Optics: Theory and Applications*. Roberts and Company Publishers, 2007.
- [3] L. Fanya, P. Zhou, T. Wang, J. He, H. Yu, et W. Shen, « A Large-Size MEMS Scanning Mirror for Speckle Reduction Application », *Micromachines*, vol. 8, p. 140, mai 2017, doi: 10.3390/mi8050140.
- [4] Z. Tong, X. Chen, M. N. Akram, et A. Aksnes, « Compound Speckle Characterization Method and Reduction by Optical Design », *Journal of Display Technology*, vol. 8, n° 3, p. 132-137, mai 2012.