

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

¹ Univ Rennes 1, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082, 7 Rue de Kerampont, Lannion, France, 22300

² Agro Innovation International - TIMAC AGRO, 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 quantique (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 une scène. Le flux réfléchi est quantifié par les détecteurs matriciels fonctionnant dans les bandes spectrales différentes. Ce banc est schématisé sur la figure (1).

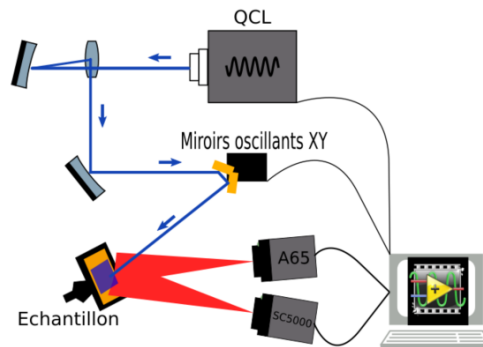


Figure 1 : Schéma de principe du banc optique.

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'éclairement, mesurée sur une surface de référence. Une soustraction du fond thermique est effectuée systématiquement. Les systèmes d'éclairage, balayage (spatial et spectral) et d'acquisition sont automatisés.

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].

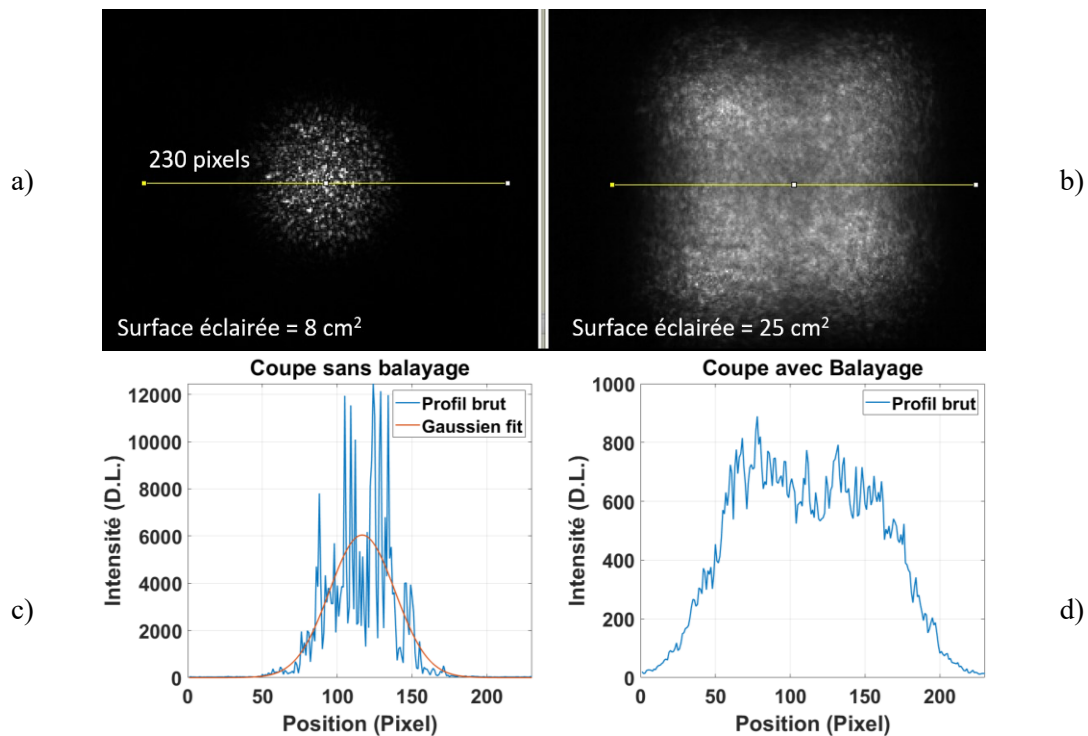


Figure 2 : Speckle présent sur la surface de l'échantillon à $8\mu\text{m}$ (a) Faisceau gaussien. (b) Balayage surface. (c) Profil sans balayage et interpolation gaussienne. (d) Profil avec balayage.

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 $\langle \cdot \rangle$ la valeur moyenne spatiale calculée sur la zone d'intérêt, et $\sqrt{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}$ l'écart type moyen. Avant calcul du contraste, 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 longueurs d'onde allant de 7,5 μm à 10,57 μm . Les discontinuités correspondent au changement de module laser. 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.

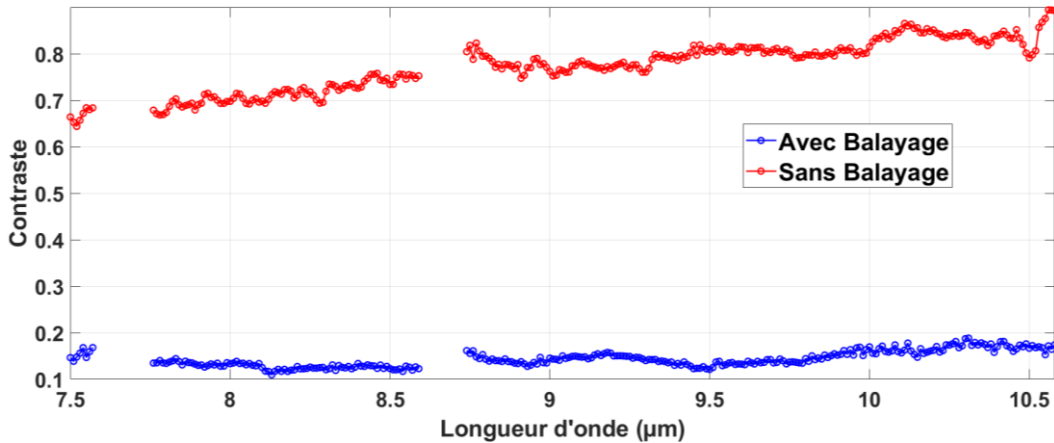


Figure 3 : Contraste en fonction de la longueur d'onde pour un éclairage avec et sans balayage.

4. CONCLUSION

Un système d'acquisition d'imagerie active hyperspectrale dans la gamme 7 – 11 μm est décrit. Nous analysons une technique standard de réduction de l'effet speckle par balayage du faisceau d'éclairage actif. Pour cela, nous caractérisons la clarté de l'image et 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.