

« Etude de filtres acousto-optiques multi-électrodes : accord du gabarit et de l'angle de Bragg par commande électronique »

Spécialité : Sciences pour l'ingénieur (optronique, électronique, systèmes)

Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologies (UMR CNRS 8520), Institut National des Sciences Appliquées Hauts-de-France, Université Polytechnique Hauts-de-France.

Direction : Jean-Claude Kastelik, jean-claude.kastelik@uphf.fr, 03 27 51 14 49

Faculté des sciences, Université du Liban, campus de Fanar.

Co-direction : Nadine Saad, saadnadinel24@gmail.com

Contexte scientifique

Les techniques d'imagerie spectrale répondent à des besoins d'analyse bien identifiés dans le domaine des géosciences et de l'environnement (couverture végétale, écosystèmes marins et côtiers, prospection minière, détection de polluants, agriculture intelligente ...) [1-3]. L'imagerie spectrale consiste à acquérir plusieurs images d'une unique scène, chaque image étant prise dans une bande spectrale distincte. Selon le nombre de bandes spectrales considérées, quelques-unes ou un grand nombre, on qualifie respectivement l'imagerie de « multi-spectrale » ou d' « hyper-spectrale ». Pour ces applications, il est très important que le gabarit optique des filtres soit **apodisé** afin de minimiser les aberrations. C'est dans ce contexte que nous proposons d'étudier la possibilité d'apodiser des filtres acousto-optiques.

Les filtres acousto-optiques offrent des performances remarquables : ils sont accordables électroniquement, ils permettent un accord aléatoire et très rapide de la longueur d'onde (μs), il est possible de concevoir des composants pour le visible ou le proche / moyen infrarouge, ils sont efficaces, offrent des gabarits optiques de l'ordre de 1 nm à 10 nm. Leurs performances les rendent très utiles dans de nombreux domaines des sciences allant de l'instrumentation à l'imagerie hyperspectrale. Nous proposons de développer un filtre acousto-optique répondant aux contraintes de l'imagerie hyperspectral. En effet, les filtres acousto-optiques permettent de sélectionner une bande lumineuse spectrale par interaction avec une onde ultrasonore sur une grande gamme optique (des ultra-violets jusqu'aux infrarouges). Avec ce type de filtre l'accord est obtenu rapidement (quelques microsecondes) par un simple contrôle de la fréquence ultrasonore, en l'absence de tout mouvement mécanique.

Pour l'enjeu qui nous intéresse, le verrou à lever concerne la possibilité d'obtenir une réponse spectrale apodisée. Pour cela une piste technologique consiste à développer des composants multi-électrodes. Cette solution combinée aux dernières générations de générateurs radiofréquences, permettent d'explorer de nouveaux champs d'application encore non explorés. Avec ce type de transducteurs, la répartition spatiale de l'onde acoustique (qui détermine le gabarit optique du filtre), ne peut être connue par les méthodes analytiques traditionnelles : celle-ci doit être déterminée par modélisation.

L'objectif de la thèse consiste modéliser la colonne acoustique et à en déduire le gabarit du filtre optique, à déterminer les conditions d'utilisation par commande électronique afin d'étendre la plage de fonctionnement sans recourir à un réaligement du dispositif ; puis à confronter les résultats attendus à l'expérience.

Les travaux seront menés de sein du groupe Opto (IEMN, site de Valenciennes) dans le cadre d'un co-encadrement avec la faculté des Sciences de l'Université du Liban.

Sujet de thèse

Les travaux portent sur la modélisation de la colonne acoustique, l'exploitation de ces données afin de déterminer le gabarit des filtres acousto-optiques selon l'interaction de Bragg en milieu anisotrope, l'analyse des conditions de fonctionnement avec une commande électronique et la caractérisation de composants [4-9]. Les différentes étapes seront :

- Etat de l'art des méthodes de modélisation des ondes acoustiques, des filtres acousto-optiques multi-électrodes et de leurs applications dans le domaine de l'imagerie
- Modélisation des ondes acoustiques dans la paratellurite
- Etude de l'interaction acousto-optique en milieu anisotrope
- Etude théorique du gabarit optique des filtres multi-électrodes
- Etude des conditions d'accord de Bragg par commande électronique
- Développements expérimentaux et caractérisation de filtres

Mots clefs

Acousto-optique, acoustique, optique, physique des ondes ultra-sonores, modélisation des ondes, matériaux anisotropes, expérimentation, imagerie.

Références :

- 1- « Synthèse sur l'imagerie hyperspectrale » Rapport final CNES 2008, http://www.sfpt.fr/hyperspectral/wpcontent/uploads/2013/01/GSH_Rapport_Final_Nov2008.pdf
- 2- E. Dekemper, Nicolas Loodts and all, « Tunable acoustooptic spectral imager for atmospheric composition measurements in the visible spectral domain », *Appl. Optics* **51**, 25 (2012) 6259-6267
- 3- J-M Froidefond et D. Doxaran, « Télédétection optique appliquée à l'étude des eaux côtières », *Télédétection* **4**, 2 (2004) 157-174
- 4- J.C. Kastelik, K. Yushkov, S. Dupont, V. Voloshinov "Cascaded acousto-optical system for the modulation of unpolarized light " *Optics express* 17(15) , p.12767 (2009)
- 5- K. B. Yushkov, S. Dupont, J-C Kastelik, and V. B. Voloshinov, "Polarization-independent imaging with an acousto-optic tandem system," *Opt. Lett.* **35**, 1416-1418 (2010)
- 6- J.C. Kastelik, S. Dupont, K. Yushkov, J. Gazalet "Frequency and angular bandwidth of acousto-optic deflectors with ultrasonic walk-off " *Ultrasonics*, **53**, 1 (2013), 219-224
- 7- A. Dieulangard « Nouvelles configurations d'interaction pour l'optimisation conjointe des performances des composants acousto-optiques », Thèse de Doctorat en Electronique, présentée le 11/12/2014 à l'Université de Valenciennes
- 8- J. CHAMPAGNE, J.C. KASTELIK, et S. DUPONT, Multi-electrode array for spectral bandwidth control. In : Fourteenth School on Acousto-Optics and Applications. SPIE, 2019. p. 35-45.
- 9- J. CHAMPAGNE, S. DUPONT, J.C. Kastelik, Tunable filter design for IR hyperspectral imaging. In : 2019 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz). IEEE, 2019. p. 1-2.

Contacts :

IEMN, groupe opto site de Valenciennes, INSA, UPHF :
Samuel Dupont, samuel.dupont@uphf.fr, 03 27 51 14 42
Jean-Claude Kastelik, jean-claude.kastelik@uphf.fr, 03 27 51 14 49
Faculté des Sciences, Université du Liban : Nadine Saad, saadnadine124@gmail.com