

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Développement d'une méthode de fusion d'images hyperspectrales et multispectrales acquises dans différentes configurations angulaires et temporelles

Référence : **PHY-DOTA-2026-02**

(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2026 à Janvier 2027
selon le type de financement

Date limite de candidature : 01/06/2026

Mots clés :

Fusion d'images, Télédétection optique passive, Imagerie multi-/hyper-spectrale, Milieux complexes, Méthodes non supervisées, Apprentissage profond (DL), Traitement d'image satellitaire, Classification d'usage des sols

Profil et compétences recherchées :

Ecole d'ingénieur ou Master 2 : Mathématiques appliquées, machine learning, traitement du signal et des images, télédétection

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

L'observation de la terre à l'aide d'imagerie optique multi- ou hyper- spectrale est utilisée dans de nombreux domaines comme l'aménagement du territoire, le suivi des milieux naturels ou de zones polluées ou la cartographie de l'occupation des sols. Ce type de données permet en effet d'obtenir des informations détaillées sur les propriétés physico-chimiques des surfaces analysées. Le nombre croissant de satellites embarquant des instruments de télédétection optique passive (grâce notamment aux récentes et futures mises en orbite de satellites du NewSpace) permet d'assurer une large couverture de la surface du globe avec une fréquence de revisite élevée d'une même zone d'intérêt. Cependant, les instruments actuels ne permettent pas d'obtenir simultanément une haute résolution spatiale et spectrale, ce qui peut poser problème pour l'analyse de milieux très hétérogènes, comme les zones urbaines [1]. Une solution consiste à fusionner des images à haute résolution spatiale mais faible résolution spectrale (images HR- *High spatial Resolution*) avec des images à haute résolution spectrale mais faible résolution spatiale (images LR – *Low spatial Resolution*) [2]. Un exemple de fusion est le pansharpening qui consiste à fusionner une image panchromatique (très résolue spatialement avec une seule bande spectrale très large) avec une image multispectrale de moins bonne résolution spatiale (on parle d'hyper pansharpening pour les images hyperspectrales). Dans le meilleur des cas, les satellites sont équipés de deux instruments qui vont acquérir les images simultanément (i.e. RapidEye, PRISMA...). Toutefois, beaucoup de satellites ne possèdent qu'une modalité, l'utilisation de données complémentaires acquises par un autre satellite est donc possible mais implique de prendre en compte, lors de la fusion, les déformations géométriques (liées à des angles de visée différents) et radiométriques (en particulier si les deux acquisitions sont réalisées à deux dates différentes) [3, 4].

Traditionnellement, les méthodes de fusion se concentrent sur des approches statistiques qui nécessitent seulement une paire d'images HR/LR [2]. Ceci est un avantage important pour leur mise en œuvre, car ces méthodes ne nécessitent généralement pas d'information supplémentaire (en particulier, elles n'ont pas besoin d'avoir accès à une importante quantité de donnée d'entraînement) [5, 6]. Ces approches traditionnelles simplifient le problème de fusion en ajoutant des contraintes sur la structure des images à fusionner, comme une parfaite registration des images, des rapports de résolution spatiale entiers ou une acquisition simultanée des images LR et HR. En pratique ces hypothèses ne sont pas toujours vérifiées, ce qui introduit des erreurs sur l'image fusionnée [4]. Ces dernières années, beaucoup de méthodes basées sur l'apprentissage profond (DL, *deep learning*) ont été développées [7]. Elles modélisent le problème de fusion de manière beaucoup plus flexible, ceci étant rendu généralement possible en utilisant une quantité très importante de données permettant d'entraîner (ou pré-entraîner) les modèles. Cependant, bien que ces méthodes puissent obtenir d'excellents résultats en termes de critères globaux, la qualité spectrale des images fusionnées a été peu analysée. De plus, un défaut majeur de ces méthodes reste leur manque de généralisation à des scénarios différents de leur cadre d'apprentissage (en termes d'instruments, zone observée, conditions d'éclairement, etc.) [7].

L'objectif de cette thèse est de proposer une méthode de fusion non supervisée, permettant d'obtenir une image à haute résolution spatiale et spectrale à partir d'images hyperspectrales et multispectrales (ou panchromatiques) acquises à des dates proches et/ou avec des angles de visée différents. Cette méthode doit pouvoir fonctionner avec peu de donnée et en zones complexes telles que les zones urbaines dont la complexité est liée à la mixité des pixels et à la présence d'ombres portées. Les images fusionnées seront évaluées en termes de qualités spectrale et spatiale, mais également sur une application pratique de classification des surfaces.

En début de thèse, une analyse bibliographique approfondie permettra de mettre en avant les approches susceptibles de répondre aux exigences imposées. Une attention particulière sera portée aux récentes avancées obtenues à l'aide de méthodes d'apprentissage profond, aussi bien en ce qui concerne les approches frugales non supervisées [8] que les approches basées sur le réglage fin (*fine tuning*) de modèles pré-entraînés sur de grands corpus de données [9]. En parallèle, une prise en main des méthodes et données existantes permettra au candidat de produire des résultats de référence. Une contribution originale permettant la fusion d'images acquises à différentes dates sera ensuite développée. Une attention particulière sera portée sur l'analyse de la sensibilité de la méthode proposée au décalage temporelle et à la complexité de la scène observée (rural, semi-urbain ou urbain). Dans un second temps, la prise en compte de différents angles d'acquisition sera étudiée, ce qui permettra enfin de développer une méthode de fusion prenant en compte les deux types de perturbations.

Bibliographie succincte :

- [1] Small C. High spatial resolution spectral mixture analysis of urban reflectance. *Remote Sensing of Environment* 88 (2003) 170–186. doi:10.1016/j.rse.2003.04.008
- [2] L. Loncan et al. Hyperspectral Pansharpening: A Review. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, vol. 3, pp. 27-46, Sept. 2015, doi: 10.1109/MGRS.2015.2440094.
- [3] J. Michel, E. Kalinicheva and J. Inglada. Revisiting Remote Sensing Cross-Sensor Single Image Super-Resolution: The Overlooked Impact of Geometric and Radiometric Distortion. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 63, pp. 1-22, 2025, doi: 10.1109/TGRS.2025.3572548.
- [4] B. Aiazzi, L. Alparone, S. Baronti, R. Carlà, A. Garzelli and L. Santurri. Sensitivity of Pansharpening Methods to Temporal and Instrumental Changes Between Multispectral and Panchromatic Data Sets. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 55, no. 1, pp. 308-319, Jan. 2017, doi: 10.1109/TGRS.2016.2606324.
- [5] Y. Constans, S. Fabre, M. Seymour, V. Crombez, Y. Deville, X. Briottet. Hyperspectral Pansharpening in the Reflective Domain with a Second Panchromatic Channel in the SWIR II Spectral Domain. *Remote Sensing*. 2022; 14(1):113. <https://doi.org/10.3390/rs14010113>
- [6] S. Neiger, S. Fabre, C. Thomas, X. Briottet. Comparison Of Pansharpening And Hypersharpener Performances On Urban Scenes. *Proc. 44th EARSeL Symposium*, Prague, Czech Republic, 2025.
- [7] G. Vivone et al. Deep Learning in Remote Sensing Image Fusion: Methods, protocols, data, and future perspectives. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 2024, pp. 2-43. doi : 10.1109/MGRS.2024.3495516.
- [8] Rajaei, A., Abiri, E. & Helfroush, M.S. Self-supervised spectral super-resolution for a fast hyperspectral and multispectral image fusion. *Scientific Reports*, vol 14, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-81031-8
- [9] Wu, R., Zhang, Z., Deng, S., Duan, Y., & Deng, L. J. PANADAPTED: Two-stage fine-tuning with spatial-spectral priors injecting for pansharpening. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2025 (Vol. 39, No. 8, pp. 8450-8459).

Collaborations envisagées :

ADS

Laboratoire d'accueil à l'ONERA :

Département : Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contact : Florian Mouret

Tél. : 05 62 25 27 38 Email : florian.mouret@onera.fr

Directeur de thèse :

Nom : Fabre Sophie

Laboratoire : ONERA

Tél. : 05 62 25 28 59

Email : sophie.fabre@onera.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>