Détection de changements et espaces de représentation en imagerie de télédétection multi-modale

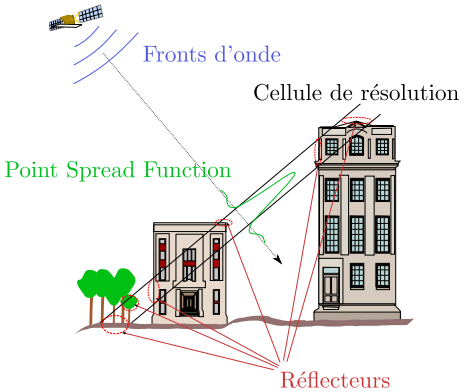
1 Objet de la thèse

L'objectif de cette thèse est de développer des approches de détection de changements pour les images de télédétection multi-modales (capteurs actif/passif, de différentes modalités, résolutions, dates d'acquisition). Le cadre méthodologique développé s'appuiera sur les espaces de représentation appris par des réseaux de neurones profonds en intégrant des a priori physiques et structurels.

2 Descriptif de la thèse

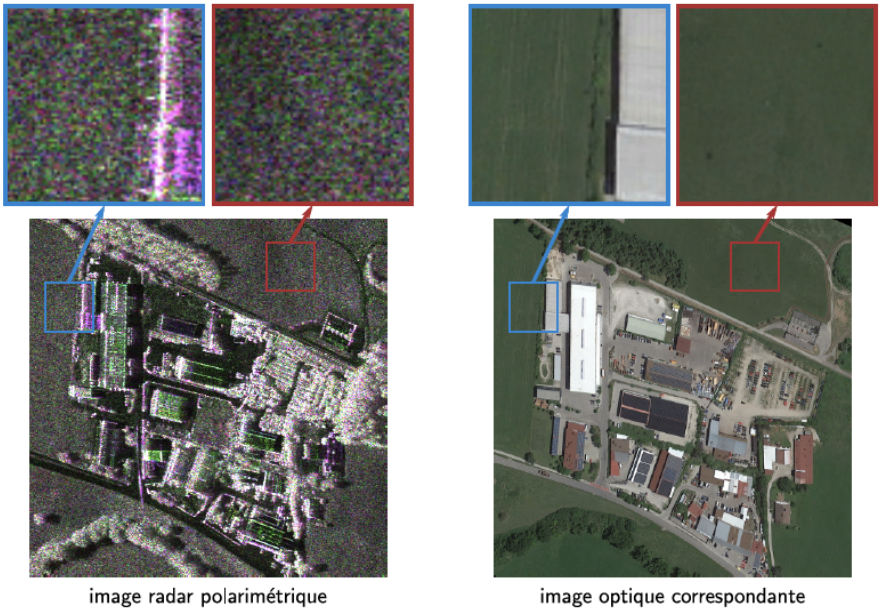
L'intelligence artificielle (IA) et les approches par apprentissage ont révolutionné la vision par ordinateur et le traitement d'images ces dernières années. Le domaine de la télédétection, qui exploite des images satellitaires ou aériennes pour l'observation de la terre, profite lui aussi de l'efficacité de ces approches qui ont conduit à de nombreuses avancées. Néanmoins, une application directe des méthodes d'apprentissage se heurte à de multiples difficultés. Tout d'abord, le domaine de la télédétection a de fortes spécificités qui nécessitent des adaptations significatives des méthodes d'apprentissage. Par exemple en imagerie SAR (Synthetic Aperture Radar), la focalisation de l'image, les spécificités de l'imagerie cohérente (speckle), ou encore la nature complexe et éventuellement vectorielle (en polarimétrie, interférométrie ou tomographie) des données doivent être prises en compte. Par ailleurs, il existe actuellement peu de jeux de données de télédétection étiquetés, en particulier en imagerie SAR, et la création de tels jeux est particulièrement coûteuse en ressources. D'un point de vue applicatif, le domaine de la télédétection connaît actuellement une très forte évolution avec la mise à disposition de quantités énormes de données avec des fréquences temporelles élevées, comme les données Sentinel-1 et Sentinel-2 de l'agence spatiale européenne. Ainsi, les défis actuels de l'imagerie satellitaire portent sur l'exploitation conjointe de multiples sources de données acquises aussi bien avec des capteurs actifs (comme les SAR) que passifs (capteurs optiques), à différentes résolutions spatiales, spectrales et temporelles.

Les verrous de la détection de changements dans un contexte multi-capteurs ou même mono-capteur mais avec angles d'incidence différents, par exemple en imagerie SAR, restent importants. Les travaux existants considèrent des angles d'acquisition identiques ou proches [8, 5], et, même dans ces cas simples, cette situation reste difficile à traiter car elle nécessite une représentation de haut niveau.



Principe d'acquisition des images SAR :
après émission d'une onde électro-magnétique, le capteur enregistre l'onde rétrodiffusée qui peut intégrer plusieurs éléments situés à la même distance du capteur.

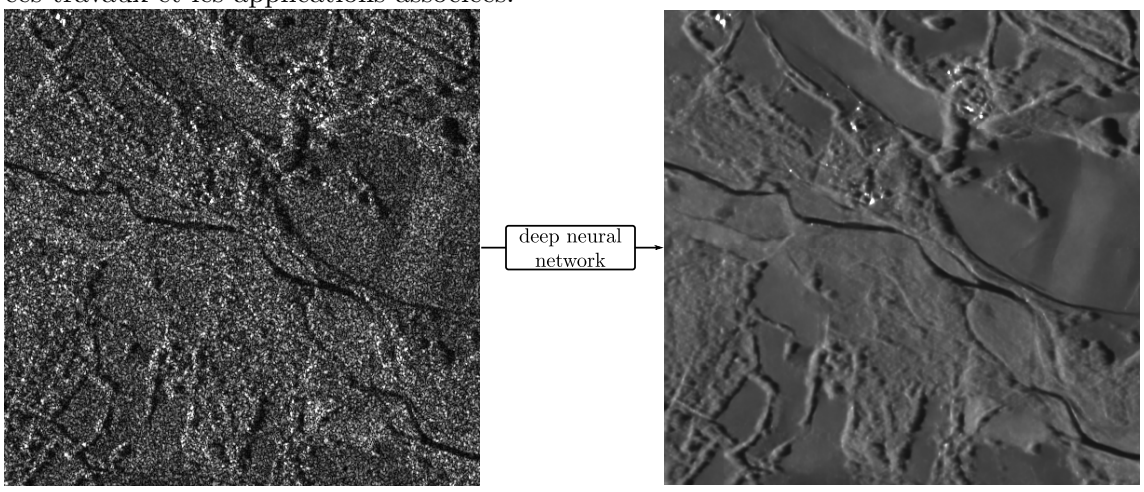
L'objectif de cette thèse est de développer des approches de détection de changements capables de gérer des données acquises par différentes modalités. Pour cela, nous proposons d'exploiter les espaces de représentation qui sont construits par les réseaux de neurones (architectures d'auto-encodeurs, modèles génératifs). Comme la variabilité de ces espaces entre différentes modalités augmente avec la résolution (notamment en milieu urbain avec les problèmes de parallaxe liés à l'élévation des objets), une partie de cette thèse sera aussi spécifiquement dédiée aux données fortement résolues.



Apparence des objets de la scène pour une image SAR et une image optique

3 Programme de la thèse

Nous décrivons ci-dessous les trois axes méthodologiques qui seront développés dans ces travaux et les applications associées.



L'exploitation d'un modèle physique des images SAR permet d'entraîner, sans vérité terrain (entraînement auto-supervisé), des réseaux à supprimer le speckle [2].

3.1 Construction d'espaces de représentation invariants

Un premier axe de recherche concerne la construction d'espaces de représentation qui soient invariants au capteur utilisé. Il s'agit d'exploiter des techniques d'adaptation de domaine pour obtenir des encodages invariants susceptibles de représenter une même scène

quelle que soit la modalité d'acquisition utilisée. La construction d'un espace latent invariant peut par exemple être réalisée en utilisant des approches d'apprentissage adversarial cyclique comme proposé dans [3]. Ces réseaux sont entraînés avec une fonction de coût cyclique après une passe forward puis backward d'un encodeur-décodeur dans l'espace initial et un discrimineur dans l'espace cible. Ces approches ont été étudiées et évaluées sur des images optiques acquises dans des conditions différentes, mais elles pourraient être adaptées dans le cas de données optique et SAR à résolution moyenne (de quelques mètres). Dans le cadre de la détection de changements, un des points importants à résoudre sera d'obtenir des espaces de représentations qui soient à la fois invariants à la modalité d'acquisition tout en permettant d'encoder précisément l'information contenue dans chaque image spécifique.

3.2 Détection de changements dans un contexte auto-supervisé

Parmi les difficultés de la détection de changement en imagerie de télédétection, le manque de bases de données étiquetées est un problème majeur. Il est donc intéressant, sinon nécessaire, de se tourner vers des approches non supervisées. Une approche possible est de classer les pixels en fonction de la probabilité qu'un changement ait eu lieu en chacun d'eux. Cela peut se faire en exploitant des approches auto-supervisées comme MERLIN [2] et des approches par rang [6].

Ces approches pourront être étudiées dans un premier temps dans un contexte mono-capteur avant d'être étendues en multi-modalités.

3.3 Le contexte de la haute résolution

Un troisième axe de recherche concernera le problème spécifique de la haute résolution où l'élévation des objets rend impossible un recalage au niveau pixel des images. Dans [5], des recalages locaux au niveau des bâtiments étaient appliqués et une méthode a contrario s'appuyant sur des points clés permettait de détecter des changements significatifs. Dans cette thèse, nous proposons d'exlorer le potentiel d'espaces latents dans lesquels l'information d'élévation pourrait être encodée. Cette information pourrait être issue d'indices mono-image (ombres, effet de parallaxe, zone de repliement en imagerie SAR) ou multi-images (stéréo-vision en optique, interférométrie ou tomographie).

3.4 Planning prévisionnel de la thèse

La première année sera consacrée à la compréhension de l'imagerie optique et SAR et aux modélisations mathématiques et physiques qui leur sont associées (modélisation des capteurs, synthèse SAR, modèles statistiques, ...). Les travaux en adaptation de domaine seront explorés.

La deuxième année sera consacrée aux approches auto-supervisées.

La troisième année s'intéressera au cas spécifique des données haute résolution pour lesquelles une caractérisation tri-dimentionnelle est nécessaire.

4 Encadrement

L'équipe IMAGES de Télécom Paris a une longue expérience en imagerie de télédétection [2, 4, 1, 5, 7] (`https://perso.telecom-paristech.fr/tupin/radarteam/staffEN.php`) qui est internationalement reconnue. La thèse sera réalisée sous la direction de Florence Tupin, professeure dans cette équipe, en co-encadrement avec Christophe Kervazo (maître de conférences dans l'équipe IMAGES) et Loïc Denis de Télécom Saint-Etienne (Laboratoire Hubert Curien, Univ. de Saint-Etienne / CNRS / Institut d'Optique Graduate School) qui est un professeur invité de Télécom Paris, collaborateur de longue

date de l'équipe et dont les travaux en imagerie non conventionnelle (astronomie, holographie, imagerie SAR) sont internationalement reconnus.

Par ailleurs, cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet ALIA du CIEDS (centre inter-disciplinaire pour la défense et la sécurité de l'Institut Polytechnique de Paris) dont l'objectif est de développer des méthodes d'apprentissage en imagerie de télédétection. Elle donnera potentiellement lieu à des collaborations avec Yann Gousseau et Saïd Ladjal dans le cadre de ce projet, ainsi qu'avec les deux autres doctorants/doctorantes et stagiaires qui seront recrutés..

Références

[1] Emanuele Dalsasso, Loïc Denis, and Florence Tupin. SAR2SAR : A Semi-Supervised Despeckling Algorithm for SAR Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14 :4321–4329, 2021.

[2] Emanuele Dalsasso, Loïc Denis, and Florence Tupin. As if by magic : self-supervised training of deep despeckling networks with MERLIN. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, pages 1–1, 2022.

[3] R. Daudt. Convolutional neural networks for change analysis in earth observation images with noisy labels and domain shifts. *PhD de l'Institut Polytechnique de Paris*, 2020.

[4] Loïc Denis, Emanuele Dalsasso, and Florence Tupin. A Review of Deep-Learning Techniques for SAR Image Restoration. In *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, pages 411–414, 2021.

[5] Gang Liu, Yann Gousseau, and Florence Tupin. A contrario comparison of local descriptors for change detection in very high spatial resolution satellite images of urban areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(6) :3904–3918, 2019.

[6] Tie-Yan Liu. Learning to rank for information retrieval. *Foundations and Trends® in Information Retrieval*, 3(3) :225–331, 2009.

[7] A. Newson, A. Almansa, Y. Gousseau, and S. Ladjal. Taking apart auto-encoders, how do they encode geometric shapes ?, 2018. HAL preprint hal-01676326.

[8] X. Su, C. Deledalle, F. Tupin, and H. Sun. NORCAMA : Change analysis in SAR time series by likelihood ratio change matrix clustering. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015.