

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

### Intitulé : Fusion d'images SAR réelles et simulées pour une reconnaissance de cibles ultra-robuste par IA

Référence : **PHY-DEMR-2026-05**

(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : **01/2027**

Date limite de candidature :

#### Mots clés

Imagerie SAR, deep learning, images synthétiques, détection, classification, adaptation de domaine

#### Profil et compétences recherchées

Candidat titulaire ou en cours d'obtention d'un diplôme de niveau M2 ou d'ingénieur, spécialisé en traitement d'images et de signal, avec un fort intérêt pour le deep learning.

Compétences : Python, PyTorch, mathématiques appliquées, traitement d'images ; la connaissance de l'imagerie radar constitue un atout supplémentaire

#### Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Le département DEMR de l'ONERA est reconnu comme un leader dans l'acquisition et le traitement des données radar. Les capteurs radar, insensibles aux conditions météorologiques, permettent d'imager le sol depuis l'air ou l'espace même sous les nuages. Leurs propriétés physiques permettent aussi de mettre en évidence des objets dans des environnements complexes, notamment à l'aide d'algorithmes automatiques.

Les approches de détection automatique de cibles (ATR pour Automatic Target Recognition, en anglais) cherchent à détecter et à identifier des objets appartenant à des catégories prédéfinies dans des images. De nombreuses méthodes ont déjà été mises au point et publiées dans la littérature scientifique. Le processus consiste en deux étapes [1] : la première étape permet de détecter des cibles potentielles et d'extraire des vignettes constituées de la cible et de son environnement direct. La deuxième étape consiste à classer le contenu de cette imagerie, c'est-à-dire la catégorie de la cible. Le développement de l'apprentissage profond a permis de dépasser les performances en détection et classification des méthodes de l'état de l'art [2-3], en particulier à partir d'images optiques pour lesquelles il existe de nombreux jeux de données annotées en libre accès. Parmi les différentes approches développées en apprentissage profond, les méthodes dites en « une seule étape », qui consistent à réaliser la détection et la classification en une seule fois, ont été les plus développées du fait notamment de leur capacité à traiter en temps réel des images de grandes dimensions. Celles-ci ont déjà montré leur intérêt pour de nombreuses modalités d'imagerie comme l'imagerie optique, infrarouge ou encore radar. En imagerie radar par synthèse d'ouverture (SAR pour Synthetic Aperture Radar, en anglais), nous sommes cependant limités par la quantité de données annotées disponibles, qui reste faible par rapport à d'autres modalités comme pour les images satellites optiques. Les bases de données publiques (Sentinel-1, Gaofen, UMBRA...) offrent une diversité limitée tant au niveau des objets annotés disponibles (déséquilibres des classes, peu de diversité) que des configurations d'acquisition. On note cependant la création récente d'une base de données d'images provenant de plusieurs capteurs radar, à des bandes et des résolutions différentes [4-7]. Ces bases multi-capteurs continuent de présenter deux lacunes importantes. Toutes les images de la base de données ne sont pas exploitables car elles sont trop bruitées. Les données utilisables pour l'entraînement d'un modèle d'IA restent donc en quantité limitée. Les images exploitables sont par ailleurs souvent centrées sur un seul objet, et le contexte environnemental élargi (qui ne se situe pas dans l'environnement direct de l'objet) comme sa localisation (dans un champ, un aéroport ou dans une zone urbaine) n'est pas fourni. Ces paliers limitent la compréhension d'une scène par le modèle, c'est-à-dire sa capacité à interpréter les interactions entre les différents éléments de cette scène.

Différentes méthodes ont été utilisées pour combler le manque de données, comme le few-shot learning [8] (avec très peu de données) ou le transfert de connaissance depuis l'optique. La génération de données synthétiques [9-10] a aussi été développée car celle-ci permet d'augmenter les bases de données en apportant plus de contexte spatial et de configurations différentes. En conditionnant la génération par des

paramètres configurables, il est possible de contraindre les paramètres physiques des images SAR simulées, ce qui apporte une diversité supplémentaire dans la base de données résultante et améliore les performances du modèle [11,12].

L'unité SEM a mis au point le simulateur **EMPRISE**, qui utilise les lois de propagation des ondes pour produire des images SAR haute-fidélité à partir de la représentation numérique d'une scène. L'intégration d'images synthétiques au cours de l'entraînement peut améliorer la capacité de généralisation des modèles de détection en ajoutant une scène autour de la cible dans l'image. Ces images simulées sont par ailleurs entièrement connues et paramétrables, ce qui donne un degré de liberté supplémentaire sur les paramètres d'acquisition, la position des objets par rapport aux autres et les catégories d'objets à reconnaître. Elles permettront d'enrichir les bases de données existantes et d'apporter davantage de diversité dans la modalité radar.

Ce sujet mobilise et relie plusieurs axes de recherche. Le premier axe est l'enrichissement des bases de données réelles par des images synthétiques avec des caractéristiques précises (différents angles de vue sur les objets, différentes incidences, différentes résolutions, différents contextes). Mais cela pose alors la question du choix de ces paramètres pour construire une base d'entraînement de taille raisonnable mais permettant d'optimiser les performances du modèle. D'autre part, bien que les images simulées soient très réalistes, il existe un écart de domaine, même léger, entre les images réelles et les images simulées : le processus d'entraînement doit donc être adapté pour ne pas détériorer les performances du modèle sur des images réelles, durant la phase d'inférence ou de test. Le modèle ne doit pas sur-apprendre sur les données synthétiques, mais doit être capable d'une généralisation suffisante permettant d'améliorer les performances de détection sur les images réelles à partir d'un entraînement avec des données hétérogènes, réelles et simulées. Comment guider l'entraînement pour amener le réseau à exploiter les informations de configuration des images simulées plutôt qu'à se focaliser sur le rendu « visuel » pour combler le manque de données réelles ?

Cette thèse a pour objectif d'étudier l'utilisation conjointe de données réelles et simulées dans l'entraînement d'un modèle d'apprentissage profond « end-to-end » pour la détection et la classification d'objets à partir d'images SAR aéroportées ou satellitaires. La première étape consistera à définir les hypothèses de simulation (paramètres d'acquisition, niveaux de bruit, calibration radiométrique) afin de construire un jeu de données synthétique cohérent. Une méthodologie permettant de sélectionner les paramètres optimaux tout en cherchant à limiter la taille de la base de données sera étudiée. La deuxième étape visera à modifier les modèles d'apprentissage profond existants pour que la détection tienne compte à la fois du contenu de l'image et du contexte fourni par les simulations. Par la suite, divers développements seront explorés, pour améliorer à la fois l'architecture du modèle et les stratégies d'apprentissage, en fonction des résultats obtenus.

## Références

- [1] Novak, L. M., & Owirka, P. (1997). *The Automatic Target-Recognition System in SAIP*. MIT Lincoln Laboratory Journal, 10(2)
- [2] Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). *Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks*. In Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS/NIPS 2015), Vol. 28
- [3] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). *You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection*. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2016)
- [4] Keydel, E.R.; Lee, S.W.; Moore, J.T. MSTAR extended operating conditions: A tutorial. In Proceedings of the 3rd SPIE Conference Algorithms SAR Imagery, Orlando, FL, USA, 10 June 1996; SPIE: Bellingham, WA, USA, 1996; Volume 2757, pp. 228–242.
- [5] Huang, L.; Liu, B.; Li, B.; Guo, W.; Yu, W.; Zhang, Z.; Yu, W. OpenSARShip: A dataset dedicated to Sentinel-1 ship interpretation. IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 2017, 11, 195–208.
- [6] Zhao, J.; Zhang, Z.; Yao, W.; Datcu, M.; Xiong, H.; Yu, W. OpenSARUrban: A Sentinel-1 SAR image dataset for urban interpretation. IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 2020, 13, 187–203
- [7] Li, Yuxuan; Li, Xiang; Li, Weijie; Hou, Qibin; Liu, Li; Cheng, Ming-Ming; Yang, Jian. *SARDet-100K: Towards Open-Source Benchmark and ToolKit for Large-Scale SAR Object Detection*. In Proceedings of NeurIPS 2024
- [8] Wang, S.; Wang, Y.; Liu, H.; Sun, Y. Attribute-Guided Multi-Scale Prototypical Network for Few-Shot SAR Target Classification. IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 2021, 14, 12224–12245
- [9] Gao, F.; Ma, F.; Wang, J.; Sun, J.; Yang, E.; Zhou, H. Semi-Supervised Generative Adversarial Nets with Multiple Generators for SAR Image Recognition. Sensors 2018, 18, 2706
- [10] Ding, B.; Wen, G.; Huang, X.; Ma, C.; Yang, X. Data Augmentation by Multilevel Reconstruction Using Attributed Scattering Center for SAR Target Recognition. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. 2017, 14, 979–983.
- [11] Giry-Fouquet, Y., Baussard, A., Enderli, C. J., & Porges, T. (2021). *SAR image generation using GANs with azimuth constraints for target classification*. In Artificial Intelligence and Machine Learning in Defense Applications III (SPIE Proceedings Vol. 11870, 118700D)
- [12] Giry-Fouquet, Y., Baussard, A., Enderli, C., & Porges, T. *SAR image synthesis with GAN and continuous aspect angle and class constraints*. In Proceedings of the 14th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2022)

## Collaborations envisagées

### Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Electromagnétisme et radar

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

**Contact** : Basile Rousse

Tél. : +33 1 80 38 63 06

basile.rousse@onera.fr

Email :

### Directeur de thèse

Nom : Alexandre Baussard

Laboratoire : LIST3N, UTT

Tél. : +33 3 51 59 12 96

Email : [alexandre.baussard@utt.fr](mailto:alexandre.baussard@utt.fr)

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