

PROPOSITION DE SUJET DE THESE**Intitulé : Détection radar robuste : application au cas de la surveillance de l'espace depuis l'espace**Référence : **PHY-DEMR-2026-10***(à rappeler dans toute correspondance)***Début de la thèse** : Octobre 2026**Date limite de candidature** : Mai 2026**Mots clés**

Radar, théorie de la détection, modèle mal spécifié, détection robuste

Profil et compétences recherchées

La personne idéale pour cette thèse devra être titulaire d'un Bac+5 ou Master 2 en traitement du signal, électronique, ou dans un domaine similaire. Elle devra posséder de bonnes bases en traitement statistique du signal, avec un intérêt pour les concepts de statistique robuste et de théorie des modèles mal spécifiés.

Des connaissances en radar, notamment sur les systèmes embarqués, et une sensibilisation aux systèmes spatiaux et satellites seront un plus.

La personne idéale devra également démontrer :

- Des compétences en simulation et évaluation de performance.
- Une capacité à analyser et interpréter des données expérimentales ou simulées.
- Un intérêt pour l'optimisation algorithmique et le développement de solutions robustes adaptées aux contraintes embarquées.

Enfin, la personne idéale doit être autonome, curieuse et motivée pour mener à bien un projet multidisciplinaire à l'interface du traitement du signal, de la statistique avancée et des systèmes radar et spatiaux.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Introduction

Les erreurs de modèles peuvent être involontaires lorsque nous ne savons pas identifier tous les phénomènes physiques interagissant avec un système ou la fonction de transfert de ce dernier. Les erreurs de modèles peuvent aussi être volontaires, en particulier dans les systèmes embarqués où les capacités de traitement restent limitées, empêchant parfois l'implémentation d'un détecteur adapté. Dans ce cas, un détecteur adapté à un modèle mal spécifié est implémenté.

Nous pouvons par exemple citer la détection de cibles avec un radar embarqué sur un satellite [DR 14], la détection de cibles hypervéloces [DR 19][DR 21] ou les radars passifs [DR 7]. Pour détecter les cibles de plus faible surface équivalente radar, le temps d'intégration doit être suffisamment long, ce qui rend inadapté le filtre classique distance-Doppler. Il devient alors nécessaire de considérer un modèle plus complexe, par exemple paramétré par l'accélération ou l'à-coup radiaux [DR 5], mais l'implémentation du filtre adapté à ce nouveau modèle à plus de deux dimensions (distance, vitesse radiale, accélération radiale, à-coup radial, ...) peut rapidement consommer trop de ressources de calculs.

Nous pouvons aussi citer la détection de cibles parmi un bruit de distribution plus exotique que la distribution gaussienne [DR 2][DR 16][DR 17]. En effet, il est souvent plus pratique d'implémenter un détecteur adapté à un bruit gaussien, circulaire et supposé i.i.d. entre les observations pour limiter la complexité calculatoire.

Enfin, nous pouvons citer la détection de cibles à partir d'observations contaminées par des données aberrantes [DR 6], qui pourraient notamment être causées par la présence d'un fouillis. Dans ce contexte de bruit contaminé, certaines observations peuvent provenir de deux distributions différentes : l'une correspondant au bruit nominal et l'autre à des données aberrantes. Afin de traiter ce type de contamination, de nouvelles techniques d'estimation robuste ont récemment gagné en popularité, notamment la famille des estimateurs de type M et S, qui permettent de réduire l'influence des observations aberrantes sur le processus d'estimation [DR 22]. Cependant, bien que ces méthodes soient largement utilisées dans le contrôle de l'erreur, les tests d'hypothèses associés aux mécanismes de détection d'observations aberrantes, qu'il s'agisse de concepts d'intégrité ou de processus de détection, n'ont pas encore été étudiés en profondeur. Seuls quelques travaux exploitant certaines propriétés asymptotiques de ces estimateurs robustes ont été proposés pour la conception de tels tests [DR 22].

Dans ce contexte de méconnaissance partielle de la distribution du bruit, certaines méthodes d'estimation semi-paramétrique ont également été récemment redécouvertes dans le domaine du radar [DR 8]. En particulier, des estimateurs semi-paramétriques capables d'estimer conjointement les paramètres du modèle d'intérêt et la loi de probabilité sous-jacente ont été proposés pour renforcer la robustesse des traitements. Ces concepts peuvent être étendus au cadre des tests d'hypothèses, ouvrant la voie au développement de techniques de détection semi-paramétriques [DR 13] adaptées aux environnements dont les statistiques ne sont pas parfaitement connues.

Pour ces raisons, nous proposons d'étudier la performance des détecteurs les plus couramment utilisés en radar dans le cas de modèles mal spécifiés, afin de permettre le dimensionnement de systèmes embarqués prévus pour des applications complexes, comme la surveillance de l'espace depuis l'espace.

Il est à noter que les performances des estimateurs ont été étudiées en partie dans [DR 18]. Ainsi l'étude doctorale que nous proposons en constitue une suite logique.

État de l'art

Dans [DR 11], les auteurs montrent la robustesse asymptotique de deux détecteurs couramment utilisés en radar, c'est-à-dire le Generalized Likelihood Ratio Test (GLRT) et l'Adaptive Matched Filter (AMF) qui sont adaptés à la détection d'un signal connu, pondéré par une amplitude complexe inconnue, et combiné à un bruit complexe gaussien et circulaire, lorsque la densité de probabilité du signal est en réalité une distribution complexe elliptiquement symétrique (CES, du terme anglais Complex Elliptically Symmetric). Les mêmes auteurs se sont aussi intéressés au détecteur Adaptive Normalized Matched Filter (ANMF) dans [DR 10].

Dans [DR 9], les auteurs s'intéressent notamment à la détection radar d'une cible dans du fouillis modélisé par une distribution de Student. Pour cela, ils évaluent par simulation de Monte-Carlo les performances du détecteur Linear Threshold Detector (LTD) adapté au modèle bien spécifié et du détecteur Adaptive Normalized Matched Filter (ANMF) qui est adapté à un modèle simplifié. Les auteurs montrent, que pour les scénarios considérés, ces détecteurs présentent des performances similaires. La robustesse de l'ANMF permet donc d'approcher les performances du LTD avec une complexité moindre, ce qui faciliterait son utilisation à bord de systèmes embarqués.

Dans [DR 15][DR 16], les auteurs s'intéressent au cas de mesures corrélées alors que le modèle spécifierait leur indépendance et leur distribution identique entre les observations. Ce cas de mauvaise spécification

concerne par exemple la corrélation du bruit entre les cellules de résolution distance-Doppler [DR 1]. Les auteurs étudient donc la robustesse du GLRT pour ce cas.

Dans [DR 20], les auteurs s'intéressent à la détection d'une cible complexe (au sens où la cible n'est pas ponctuelle) dans un bruit gaussien. Pour cela, ils établissent deux nouveaux détecteurs à partir des tests de Rao et de Wald adaptés sous l'hypothèse (H1) à un mélange d'un bruit gaussien, d'une cible ponctuelle et d'un signal fictif de distribution complexe, circulaire et symétrique. Ils évaluent ensuite la robustesse de ces détecteurs pour différentes mauvaises spécifications.

Dans [DR 3], l'auteur poursuit l'étude de la détection en cas d'une mauvaise spécification de la signature spatiale de la cible (steering vector mismatch en anglais). Cette dernière pourrait par exemple être causée par un mauvais pointage du faisceau formé, une calibration erronée, des multitrajets ou des distorsions liées au matériel.

Dans [DR 4], l'auteur étudie le cas d'une cible hors de la grille des paramètres testés par le détecteur, ce qui induit la désadaptation par rapport au modèle sur lequel a été construit le détecteur.

Activités de thèse

Le sujet de thèse concernera la surveillance de l'espace depuis l'espace. Pour cette application,

- La signature distance-Doppler de la cible peut être mal spécifiée étant donné que le mouvement relatif entre deux objets spatiaux nécessite la connaissance d'au moins six paramètres, ce qui rendrait complexe les détecteurs adaptés.
- La calibration de l'antenne réseau peut devenir erronée à cause des fortes variations de la température dans l'espace, selon que l'antenne réseau soit orientée vers le Soleil ou non.
- Le signal émis par le radar peut être déformé puisqu'il faut pulser l'alimentation des amplificateurs de puissance à l'émission pour économiser autant que possible l'énergie [DR 12].

Les activités de thèses consisteront donc à

- Se former aux outils avancés de traitement statistique du signal, en particulier à la théorie des modèles mal spécifiés, à la statistique robuste, et, si le temps le permet en fin de thèse, à la théorie semi-paramétrique.
- Identifier et comprendre les mauvaises spécifications de modèles dans le cas général d'un système radar (e.g. distribution du bruit, couplage d'antennes, mauvaises calibrations, distorsions de la forme d'onde, migrations de paramètres, fluctuations de la cible).
- Modéliser le cas applicatif du radar embarqué sur un satellite et surveillant l'orbite terrestre basse.
- Réaliser un état de l'art des détecteurs radar issus de la théorie robuste, ainsi qu'un état de l'art des approches fondées sur les modèles mal spécifiés.
- Choisir un détecteur robuste adapté au contexte du radar embarqué et au traitement embarqué à bord du satellite, et évaluer ses performances face aux incertitudes du modèle et aux données aberrantes. Dans un second temps, dans l'objectif de simplifier le traitement embarqué, proposer de nouveaux détecteurs robustes permettant d'obtenir des performances fiables dans les mêmes contextes perturbés.

Références

[DR 1] Hind AIT TALEB, Abigael TAYLOR, Valentine WASIK et Yassin EL HILLAL : Impact de la transformée de Keystone sur la détection de cibles radar. In 30^{ème} Colloque sur le Traitement du Signal et des Images, 2025.

[DR 2] Rama CHELLAPPA et Sergios THEODORIDIS : Academic Press Library in Signal Processing, Volume 7 : Array, Radar and Communications Engineering. Academic Press, New York, USA, 2017.

[DR 3] Antonio DE MAIO : Robust adaptive radar detection in the presence of steering vector mismatches. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 41(4):1322–1337, 2005.

[DR 4] Pierre DEVELTER : Nouveaux Traitements Radar Robustes aux Erreurs de Modèle : le Cas des Cibles hors Grille. Thèse de doctorat, Université Paris-Saclay, 2023.

- [DR 5] Igor DJUROVIĆ, Marko SIMEUNOVIĆ et Pu WANG : Cubic phase function : a simple solution to polynomial phase signal analysis. IET Radar, Sonar & Navigation, 135:48–66, 2017.
- [DR 6] Michael FAUSS, Abdelhak M. ZOUBIR et H. Vincent POOR : Minimax robust detection : Classic results and recent advances. IEEE Transactions on Signal Processing, 69:2252–2283, 2021.
- [DR 7] Alexandra FILIP-DHAUBHADEL et Dmitriy SHUTIN : Long coherent integration in passive radar systems using super-resolution sparse bayesian learning. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 57(1):554–572, 2021.
- [DR 8] Stefano FORTUNATI : Semiparametric estimation in elliptical distributions. In Elliptically Symmetric Distributions in Signal Processing and Machine Learning, pages 149–185. Springer, 2024.
- [DR 9] Stefano FORTUNATI, Maria S. GRECO et Fulvio GINI : The impact of unknown extra parameters on scatter matrix estimation and detection performance in complex t-distributed data. In 2016 IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP), pages 1–4, 2016.
- [DR 10] Stefano FORTUNATI, Maria S. GRECO et Fulvio GINI : Matched, mismatched, and robust scatter matrix estimation and hypothesis testing in complex t-distributed data. IET Radar, Sonar & Navigation, 1:123, 2016.
- [DR 11] Stefano FORTUNATI, Maria S. GRECO et Fulvio GINI : Asymptotic robustness of Kelly's GLRT and adaptive matched filter detector under model misspecification, 2017.
- [DR 12] Michael GURR : How Minimizing Pulse Droop in GaN Power Amplifiers Improves Radar Range. Analog Devices, 2023.
- [DR 13] Marc HALLIN et Davy PAINDAVEINE : Optimal tests for multivariate location based on interdirections and pseudo-mahalanobis ranks. The Annals of Statistics, 30(4):1103–1133, 2002.
- [DR 14] Penghui HUANG, Guisheng LIAO, Zhiwei YANG, Yuxiang SHU et Wentao DU : Approach for space-based radar manoeuvring target detection and high-order motion parameter estimation. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 9(6):732–741, 2015.
- [DR 15] Yair NOAM et Joseph TABRIKIAN : Asymptotic analysis of marginal-likelihood based estimators for m-dependent processes. In 2006 IEEE 24th Convention of Electrical & Electronics Engineers in Israel, pages 275–279, 2006.
- [DR 16] Yair NOAM et Joseph TABRIKIAN : Marginal likelihood for estimation and detection theory. IEEE Transactions on Signal Processing, 55(8):3963–3974, 2007
- [DR 17] E. OLLILA, D. E. TYLER, V. KOIVUNEN et H. V. POOR : Complex elliptically symmetric distributions : Survey, new results and applications. IEEE Transactions on Signal Processing, 60(11):5597–5625, 2012.
- [DR 18] Lorenzo ORTEGA : Statistical Signal Processing for the Design of Navigation and Localization Systems. Habilitation à diriger des recherches, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 2025.
- [DR 19] Shimon PELEG et Benjamin FRIEDLANDER : The discrete polynomial-phase transform. IEEE Transactions on Signal Processing, 43(8):1901–1914, 1995.
- [DR 20] Shengyin SUN, Jun LIU, Weijian LIU et Tao JIAN : Robust detection of distributed targets based on Rao test and Wald test. IEEE Transactions on Signal Processing, 180:107801, 2021.
- [DR 21] Pang cun SUO, Shan TAO, Ran TAO et Zhang NAN : Detection of high-speed and accelerated target based on the linear frequency modulation radar. IET Radar, Sonar & Navigation, 8(1):37–47, 2014.
- [DR 22] Abdelhak M ZOUBIR, Visa KOIVUNEN, Esa OLLILA et Michael MUMA : Robust statistics for signal processing. Cambridge University Press, 2018.

Collaborations envisagées

Des collaborations avec l'ISAE-SUPAERO pourraient être envisagées.

Laboratoire d'accueil à l'ONERA Département : Electromagnétisme et Radar Lieu (centre ONERA) : Toulouse Contact : Benjamin GIGLEUX Tél. : 05 62 25 27 97 Email : benjamin.gigleux@onera.fr	Directeur de thèse Nom : Lorenzo ORTEGA Laboratoire : DR2I- IPSA et TéSA Tél. : 05 61 24 73 60 Email : lorenzo.ortega@tesa.prd.fr
---	--

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