

# THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 641  
*Mathématiques et Sciences et Technologies  
de l'Information et de la Communication*  
Spécialité : *Électronique*

Par

**Guillaume MARTIN**

## **Développement de transpondeurs maritimes de nouvelle génération**

Thèse présentée et soutenue à Nantes Université, le 23 février 2024  
Unité de recherche : IETR UMR 6164

### **Rapporteurs avant soutenance :**

Ali KHALIGHI Maître de Conférences/HDR, École Centrale Méditerranée, Marseille  
Kosai RAOOF Professeur des Universités, Le Mans Université, Le Mans

### **Composition du Jury :**

Examineurs : Marion BERBINEAU Directrice de Recherche, Université Gustave Eiffel, Villeneuve d'Ascq  
Ali KHALIGHI Maître de Conférences/HDR, École Centrale Méditerranée, Marseille  
Kosai RAOOF Professeur des Universités, Le Mans Université, Le Mans  
Dir. de thèse : Pascal CHARGE Professeur des Universités, Nantes Université, Nantes  
Encadrant : Salah Eddine BOUZID Maître de Conférences, Nantes Université, Nantes

### **Invité(s) :**

Jean-Luc ALANIC Directeur Général, AMG Microwave, Lannion

**Titre :** Développement de transpondeurs maritimes de nouvelle génération

**Mot clés :** Transpondeurs intelligents, Racon, intelligence artificielle explicable (XAI), signaux radar, désentrelacement, apprentissage non supervisé, clustering, analyse temporelle, homogénéité, exhaustivité.

**Résumé :** Un Racon est un transpondeur maritime pour l'aide à la navigation. Il réagit aux sollicitations des radars des navires et transmet des informations de cap, de danger, etc. Or, les performances d'un Racon se détériorent dans des zones très fréquentées où tous les navires ne reçoivent pas les informations requises. Dans cette thèse, nous implémentons des algorithmes d'apprentissage non supervisé afin que, sans connaissance a priori, un Racon caractérise son environnement. Une base de donnée de signaux radar est générée en s'appuyant sur les fiches techniques des différents radars maritimes civils existants. Dans un premier

temps, les algorithmes commencent par regrouper en clusters les impulsions détectées selon leurs paramètres primaires. Puis les impulsions détectées sont séquencées en fonction de leur différence de temps d'arrivée. Enfin, grâce à nos connaissances générales sur les radars, nous reconstruisons les signatures des radars. Afin d'évaluer les performances, nous avons simulé des scénarios avec différents radars, de tous types de technologie, autour d'un Racon. Les résultats obtenus montrent que nous parvenons à caractériser les radars environnants un Racon et à différencier les radars ayant une signature identique.

**Title:** Development of new-generation marine transponders

**Keywords:** Intelligent transponders, Racon, explainable artificial intelligence, radar signals, deinterleaving, unsupervised learning, clustering, temporal analysis, homogeneity, completeness.

**Abstract:** A Racon is a maritime transponder used as an aid to navigation. It responds to ship radar pulses and transmits information on course, hazards etc. However, the performance of a transponder deteriorates in busy areas where not all ships receive the required information. In this thesis, we implement unsupervised learning algorithms so that, without any prior knowledge, a Racon can characterize its environment. A database of radar signals is generated using the data sheets of the various existing civilian marine radars. The algorithms begin

by grouping the detected pulses into clusters according to their primary parameters. Then the pulses are sequenced according to their time-of-arrival differences. Finally, using our general knowledge of radars, we reconstruct radars signatures. To evaluate performance, we simulated scenarios with different radars, of all types of technology, around a given Racon. The results obtained show that we are able to characterize the radars surrounding a Racon and distinguish between radars with identical signatures.