

Présentation de l'opération R&D : Interception et Simulation Radar

Crédit impôt recherche
AVANTIX 2019 2020 2021

Philippe Charton
Avantix EW CTO
24/10/2022



Content overview

01. Objet de l'opération de R&D

02. Etat de l'art

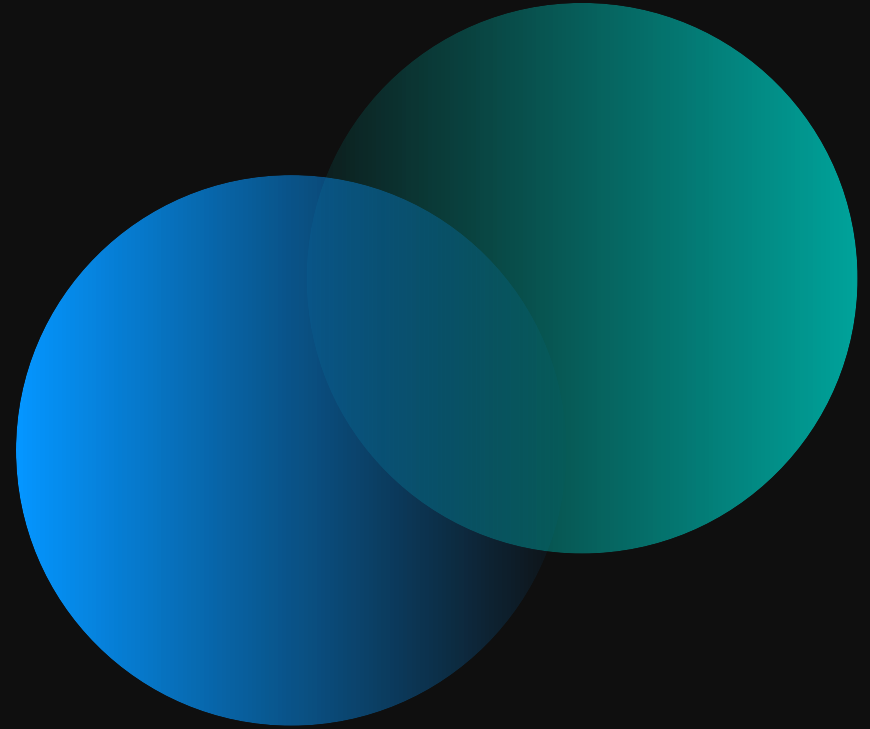
03. Verrous technologiques

04. Travaux accomplis en 2019

05. Travaux accomplis en 2020

06. Travaux accomplis en 2021

Objet de l'opération
de R&D



Objet de l'opération de R&D

Interception et Simulation Radar

- **Méthodologie de sélection de l'opération de R&D**
 - Exploitation des connaissances tirées de la recherche en analyse de données massives et de l'expérience pratique du Ministère des Armées
 - Conception de démonstrateurs et prototypes d'équipements destinés à l'interception, l'analyse, la classification, la goniométrie et l'interférométrie des signaux radar
 - Conception de démonstrateurs et prototypes de simulateurs d'environnement radar pour mettre sous test des intercepteurs radar
 - Démarche de développement expérimental.
 - « Le développement expérimental consiste en des travaux systématiques – fondés sur les connaissances tirées de la recherche et l'expérience pratique et produisant de nouvelles connaissances techniques – visant à déboucher sur de nouveaux produits ou procédés ou à améliorer les produits ou procédés existants. »

Objet de l'opération de R&D

Interception et Simulation Radar

- Opération de R&D dans le cadre de l'activité de l'entreprise
 - Dispositifs d'interception et d'analyse radar de type R-ESM/ELINT passifs, non détectable, analysent de manière approfondie les signaux interceptés pour fournir des informations vitales sur l'adversaire, tels que ses ordres de combat, ses forces, ses faiblesses, ses dispositions, ses réactions et ses intentions
 - Dispositifs de simulation des signaux radar pour la création et la génération de scénarios physiques d'environnement radar de haut niveau (menaces), et l'émulation d'intercepteurs radar pour former et entraîner les opérateurs à des situations quasi-opérationnelles, sans pour autant disposer de l'ensemble des équipements expérimentaux nécessaires
 - Evaluation des performances des intercepteurs radar

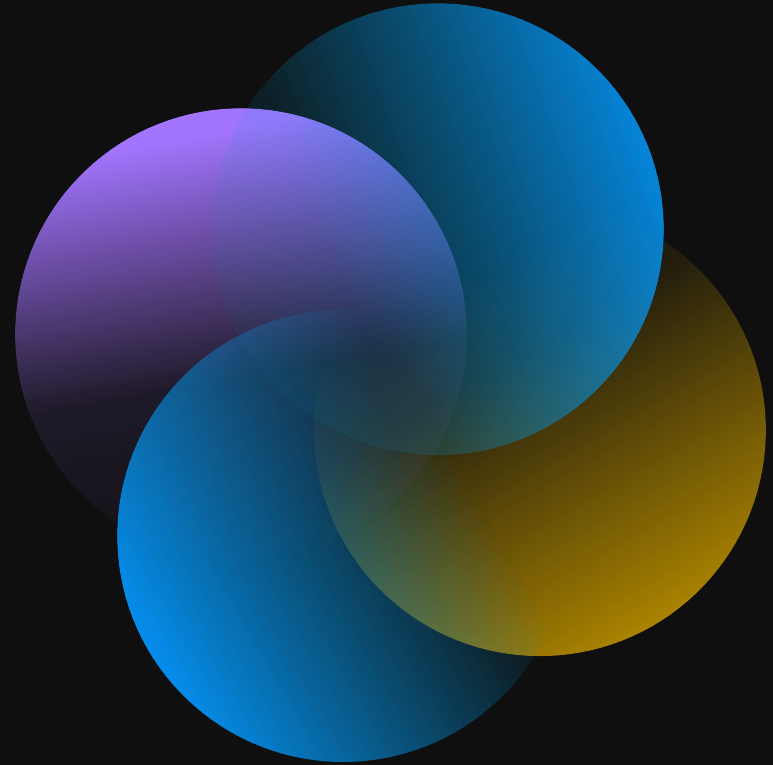
Objet de l'opération de R&D

Interception et Simulation Radar

- Indicateurs de R&D

- Brevet « SYSTEME ET PROCEDE D'IDENTIFICATION DE SOURCE RADAR »
- Brevet « DISPOSITIF POUR LA DETERMINATION DU SPECTRE D'UN SIGNAL SUR UNE LARGE BANDE DE FREQUENCE PAR ECHANTILLONNAGES MULTIPLES ET PROCEDE ASSOCIE »
- Brevet « PROCEDE D'AGREGATION ET DE REGULATION DE MESSAGES TEMPS REEL VIA UN CANAL DE COMMUNICATION BIDIRECTIONNEL CONTRAINT »
- Brevet « SOLUTION D'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE D'UNE MESURE DE SIMILARITE DE SIGNAUX RADARS ET RADIO COMMUNICATION A PARTIR D'UNE CHAINE IA ALLIANT ALGORITHMES SUPERVISES ET NON SUPERVISES »
- Thèse CIFRE Intelligence artificielle pour le radar passif en collaboration avec Centrale Supélec / laboratoire L2S
- Publications :
 - MOTTIER, Manon, CHARDON, Gilles, et PASCAL, Frédéric. Deinterleaving and Clustering unknown RADAR pulses. In : 2021 IEEE Radar Conference (RadarConf21). IEEE, 2021. p. 1-6.
 - MOTTIER, Manon, CHARDON, Gilles, et PASCAL, Frédéric. RADAR Emitter Classification with Optimal Transport Distances. METHODOLOGY, vol. 10, p. 11.
- Une seconde thèse CIFRE a été lancée à la fin de l'année 2021 et a pour sujet l'étude et la réalisation d'un réseau radiogoniométrique large bande et multipolarisation en collaboration avec l'Université de Rennes / IETR

Etat de l'art



▪ Stratégies d'interception des radars LPI :

- Les radars LPI (Low Probability of Intercept) représentent la dernière génération de radar disponibles sur le marché. Leur caractéristique les rend leur détection difficile (interception radar), ou encore leur génération compliquée (simulation de radar).
- Quelques caractéristiques des radars LPI :
 - Optimisation de la puissance d'émission et forts rapports cycliques ;
 - Etalement de l'énergie sur la durée ;
 - Temps d'intégration pour la détection considérablement allongé par rapport aux générations précédentes ;
 - Agilité fréquentielle (EVM) et sélection des fréquences ;
 - Schémas de balayage élaborés et irréguliers ;
 - Impulsion codée pour la détection cohérente : modulation FMCW ;
 - Lobes secondaires extrêmement faibles de l'antenne.

Etat de l'art

Interception et Simulation Radar

▪ Stratégies du radar LPI :

- 1. Fondre les impulsions dans le bruit de fond lors de la détection par l'intercepteur radar.**
-> le radar étale au maximum son énergie dans le temps avec de forts rapports cycliques, mais également en fréquence avec de très larges bandes.
- 2. Capacité à être agile et imprévisible.**
-> les radars de type LPI s'avèrent particulièrement agiles en fréquences, et leurs manières de passer d'une fréquence à une autre est régie par une loi complexe, caractérisée par son irrégularité.
- 3. Utilisation d'une antenne très directive (lobes secondaires extrêmement faibles)**
-> rend sa détection encore plus difficile quand le faisceau ne pointe pas vers sa cible.

▪ Stratégies de détection de l'intercepteur :

- La thématique d'interception des Radar LPI représente une thématique de recherche scientifique active.
- Pour reconnaître la présence de signaux radar LPI, les intercepteurs doivent être équipés d'une fonction de reconnaissance automatique de la forme d'onde du radar LPI.
 - > Réseau de neurones convolutifs (CNN),
 - > Autoencodeur empilé combiné à une machine à vecteurs de support (SVM),
 - > Récepteurs multi-antennes.

Etat de l'art

Interception et Simulation Radar

▪ Limites de l'état de l'art :

- Les techniques d'interception LPI (utilisant la cohérence des signaux depuis 2 antennes) permettent de surmonter le caractère furtif des signaux LPI, en remontant le niveau des signaux radar par rapport au bruit.
 - Inconvénient :
 - Matériel : Nécessite 2 antennes
 - Complexité calculatoire : par rapport aux approches de détection conventionnelles (traitement multi-antennes).
- > Nécessite des composants de calcul plus performants et augmente les coûts de la solution.

▪ Intelligence Artificielle pour les solutions d'interception radar

- L'intelligence artificielle (IA) permet aux machines d'apprendre à partir des données et d'adapter très rapidement leur stratégie.
- Les signaux interceptés sont de plus en plus volumineux et contiennent une grande quantité d'informations à traiter

-> Nécessite de développer de nouveaux algorithmes capables de séparer les impulsions d'un signal, de les classer correctement afin d'identifier la présence des différents émetteurs (clustering).

- De nombreux travaux de recherche récents utilisent l'apprentissage profond pour séparer les impulsions d'un signal et identifier les émetteurs présents.

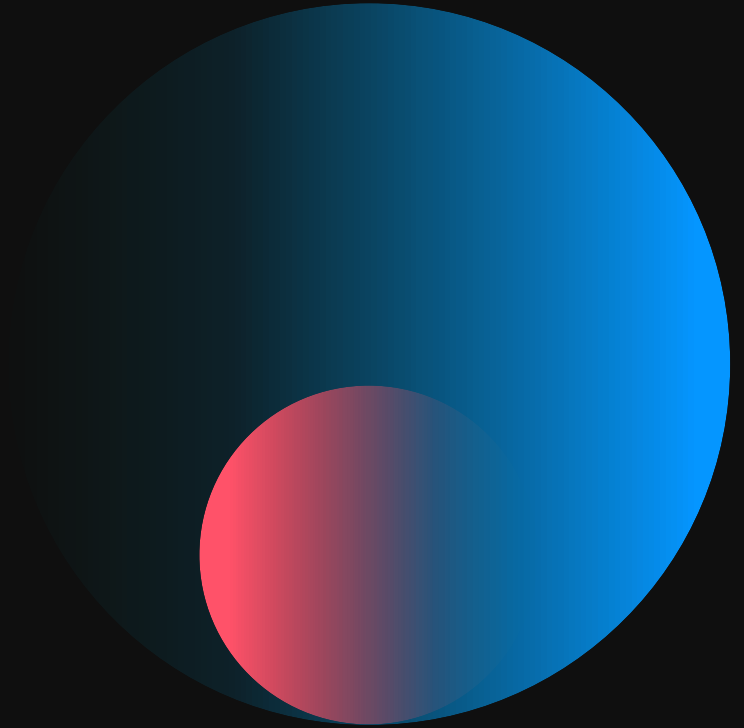
▪ Intelligence Artificielle pour les solutions d'interception radar

- Les limites de l'état de l'art :

- Les solutions développées ne prennent souvent pas en compte la nature des données et ne sont pas facilement reproductibles,
- Dans l'environnement RADAR, il n'est pas facile d'obtenir de grands jeux de données,
- L'apprentissage profond ne traite pas facilement les signaux avec un faible nombre d'impulsions.

-> Des comparaisons ont montré que les modèles d'apprentissage profond ne sont pas nécessairement meilleurs que des modèles plus conventionnels.

Verrous
technologiques



Verrous technologiques

Interception et Simulation Radar

- En interception radar il n'existe pas d'approche unique compatible avec tous les radars existants
- Bases de données radar strictement du secret de l'état → Difficulté à connaître les formes d'onde radar à traiter → Difficulté à créer un environnement de test représentatif
- Probabilité d'interception dépend de la stratégie de balayage
- Performance de caractérisation d'un radar dépend de la qualité de mesure de ses impulsions
 - Performances et qualité de réception de la chaîne hyper fréquence de l'antenne, à la réception et la numérisation
 - Performances des algorithmes de traitement du signal
- Performance d'identification d'un radar → Efficacité d'extraction (séparation des autres radars)
- Précision de la localisation dépend des facteurs suivants
 - Des performances du système antenne
 - Des contraintes d'intégration et d'installation imposées par le porteur
 - De la compatibilité des solutions avec les autres équipements se trouvant à l'intérieur du porteur
 - De la qualité des tables de calibration
 - De la qualité des algorithmes de goniométrie (par amplitude ou par interférométrie ou vectorielle)
 - De la capacité de traiter en temps réel et de distinguer les signaux pouvant être émis par plusieurs sources

Verrous technologiques

Interception et Simulation Radar

- **Contraintes de conception matérielle**
 - Conception du réseau d'antennes et de la chaîne de traitement analogique hyper fréquences
 - Ressources de calcul disponibles en embarqué pour répondre à la contrainte de temps réel
 - Compatibilité électro-magnétique avec autre équipements se trouvant sur les porteurs d'intérêt.
 - Contraintes d'intégration (exemple : équipement d'un avion ou d'un bateau militaire)
 - Consommation énergétique réduite
 - Durcissement des composants pour la tenue en environnement extrême
 - Dissipation thermique avec de fortes contraintes de température
 - L'obsolescence et la maintenabilité sont de fortes contraintes dans les applications militaires
- **Contraintes de conception logicielle**
 - Très importante volumétrie et débit de données à traiter
 - Une réactivité avec un temps de réponse minimum
 - Une automatisation maximale pour ne pas surcharger l'opérateur
 - Une manipulation et une aide à la prise de décision ergonomiques selon la situation terrain
- **Problématique de mise au point (difficulté à reproduire un environnement réel)**
- **Sécurisation contre le rétro engineering, la copie et le détournement d'usage**

Travaux accomplis en 2019



Travaux accomplis en 2019

Interception et Simulation Radar

- Contribution scientifique, technique ou technologique
 - Conception et développement de démonstrateurs pour l'interception Radar nous permettent
 - D'accroître nos connaissances sur les signaux des radars à faible probabilité d'être interceptés (LPI)
 - De développer trois démonstrateurs R-ESM/ELINT visant respectivement à :
 - Réaliser la goniométrie
 - Réaliser l'interférométrie des signaux large bande
 - Etre omnidirectionnel.
 - Avoir de bonnes performances en : désert, environnement urbain, zone côtière, océan, en vol
 - Etre intégrables dans de nombreux porteurs : camion, avion, bateau, etc.
 - Avoir la double fonction : situation tactique radar (R-ESM) et renseignement radar (ELINT).

Travaux accomplis en 2019

Interception et Simulation Radar

- **Axe de recherche 1 : Conception et développement de démonstrateurs pour l'interception radar**
 - Evaluation sur navire d'un démonstrateur d'intercepteur radar utilisant la goniométrie par amplitude
 - Mesures en goniométrie n'ont pas atteint le niveau de précision attendu
 - Retour d'expérience : Mauvaise position des antennes sur le bateau
 - Retour d'expérience : Mauvaise performance des antennes : influence du radome, ondulation dans la bande de réception
 - Retour d'expérience : Implémentation perfectible de l'algorithme de goniométrie par amplitude
 - Conception prototype récepteur 0,5-18GHz superhétérodyne de 3 GHz de bande sur trois voies synchrones
 - Reprise complète de l'architecture pour atténuer fortement les raies parasites en diminuant le nombre de transpositions hyper fréquence
 - Définition de la stratégie d'intelligence artificielle pour l'automatisation de l'algorithme d'extraction
 - Etude d'un nouvel algorithme d'extraction, développé en Python qui repose sur les principes des algorithmes de type PCA (Analyse en composantes principales)
 - Apprentissage nécessite de nombreux jeux de données d'entrée, et de pouvoir les répéter dans le temps (quand les émetteurs sont multipliés)
 - Seconde stratégie envisagée consiste à utiliser dans un premier temps un algorithme d'apprentissage supervisé, pour passer ensuite progressivement à un apprentissage non supervisé

Travaux accomplis en 2019

Interception et Simulation Radar

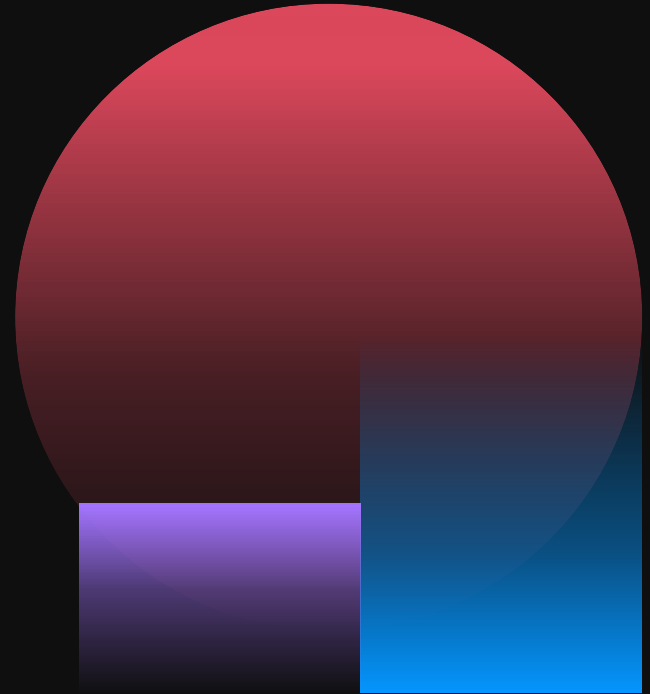
- **Axe de recherche 1 : Conception et développement de démonstrateurs pour l'interception radar**
 - Développements des logiciels nécessaires à l'ensemble des démonstrateurs (goniométrie, interférométrie, omni)
 - Fonctionner selon les deux modes R-ESM et ELINT, en condition d'« Opération » avec
 - Un contexte opérationnel donné par l'opérateur ;
 - Des IHMs de visualisation : azimuth/fréquence par défaut, cartographie R-ESM ou ELINT, azimuth/LI, LI/fréquence, etc.
 - Rapport de mission
 - Effacement d'urgence de la base de données des missions et résultats.
 - Permettre à des opérateurs expérimentés de préparer les missions
 - Ajout d'un nouveau mode de pistage
 - Suivi des mouvements d'une ou plusieurs cibles d'intérêt
 - Réduction de la base de données de l'ensemble des radars existants à une liste restreinte portant uniquement sur les cibles d'intérêt

Travaux accomplis en 2019

Interception et Simulation Radar

- Axe de recherche 2 : Conception et développement d'une plateforme de simulation radar
 - Reprise de l'architecture d'un simulateur multi radars multi directions d'arrivée pour obtenir la performance voulue
 - Atténuation du bruit et des raies parasites par réduction des mélanges de fréquence et ajout d'un tiroir de filtrage
 - Etude de faisabilité de suivi de cible en vol

Travaux accomplis
en 2020



Travaux accomplis en 2020

Interception et Simulation Radar

- **Contribution scientifique, technique et technologique**

- Développement d'une stratégie d'Intelligence Artificielle pour l'identification automatique des émetteurs radars
 - Désentrelacer et classifier les impulsions d'un signal radar en utilisant un algorithme de clustering (regroupement sélectif) appliqué sur la fréquence et la durée d'impulsion pour séparer chaque impulsion du signal en plusieurs groupes (clusters)
 - Regrouper grâce à une méthode de clustering hiérarchique utilisant une distance basée sur le transport optimal
 - Extraction des caractéristiques pour les comparer à une base de données de référence en utilisant la distance du transport optimal
 - Résultats obtenus sur les données simulées très encourageants. Ils permettent d'identifier avec grande confiance la classe de l'émetteur

Travaux accomplis en 2020

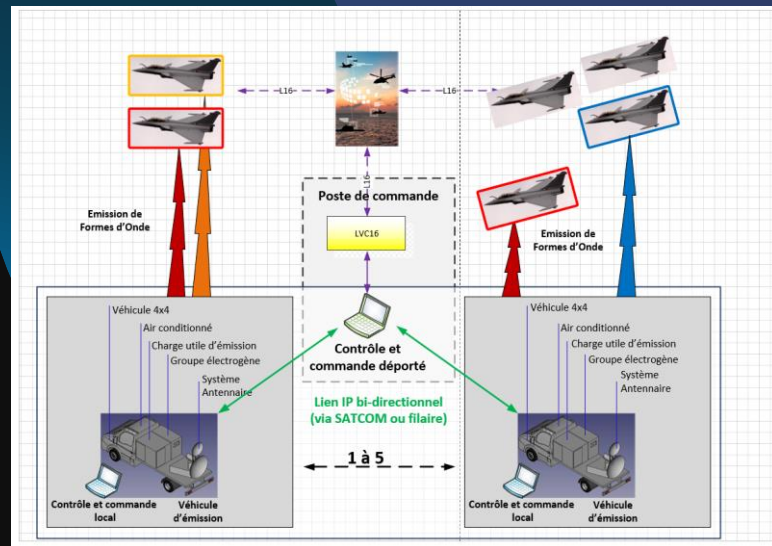
Interception et Simulation Radar

- **Axe de recherche 1 : Conception et développement de démonstrateurs pour l'interception radar**
 - Développement de la stratégie d'Intelligence Artificielle pour l'identification automatique des émetteurs radar
 - L'Intelligence Artificielle fonctionne sur des données. N'ayant pour l'instant pas à disposition de données réelles nous avons créé une base de données de simulation pour les évaluations des algorithmes
 - Construction d'une base de données de caractéristiques radar pour les simulation
 - Développement d'un simulateur pour générer les données synthétiques étiquetées pour les évaluations des algorithmes
 - Développement d'une méthode de désentrelacement d'un signal à l'aide de différents algorithmes DBSCAN, OPTICS et HDBSCAN. Evaluation sur données simulées conduit au choix de HDBSCAN
 - Développement d'une méthode de regroupement (clustering) hiérarchique utilisant une distance basée sur le transport optimal
 - Evaluation de la méthode complète (Désentrelacement et Regroupement) → Résultats satisfaisants mais perfectibles
 - Travaux expérimentaux pour sélectionner les modèles à retenir. Deux modèles par tâche ont été choisi (parmi six modèles au total), en complément de quatre modèles classiques (XGboost, SVM, RandomForest, MLP)
 - Principal facteur d'évaluation est le taux de retraitement pas les opérateurs pour corriger des ambiguïtés du système, l'objectif étant d'éviter d'augmenter la charge du travail des opérateurs.

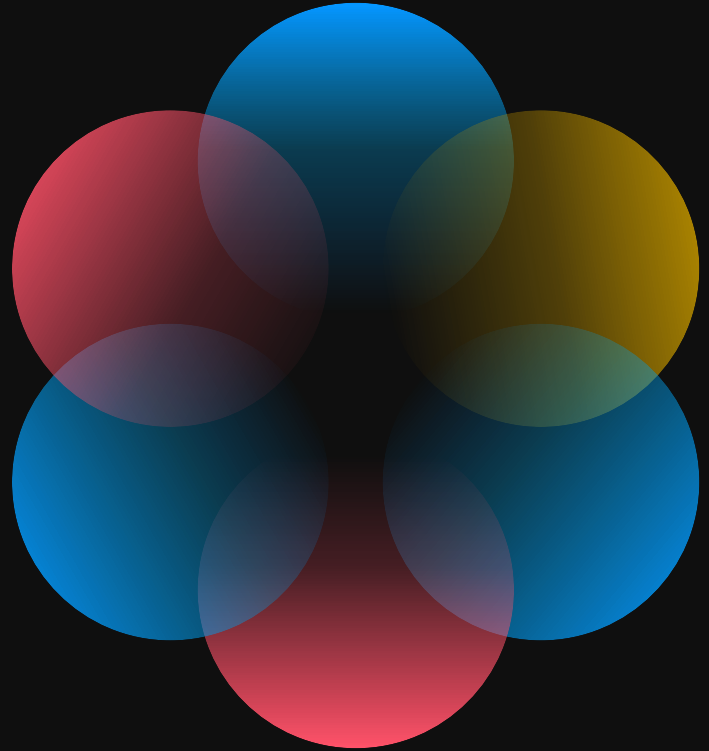
Travaux accomplis en 2020

Interception et Simulation Radar

- Axe de recherche 2 : Conception et développement d'une plateforme de simulation radar
 - Développement d'un prototype d'illuminateur radar d'avion de chasse avec suivi en vol
 - Système de tourelle équipée d'antennes radar paraboliques intégrée sur un camion
 - Assurer la stabilité du système et du camion sur le terrain
 - Assurer que l'orientation et l'inclinaison de la tourelle permettent d'estimer avec un degré de précision élevé les positions des appareils
 - Une liaison L16 Satcom permet de déporter les commandes
 - Mode automatique. Le système est autonome et pointe automatiquement vers les aéronefs
 - Mode semi-automatique. A partir de l'ensemble des positions affichées par les écrans de la station, l'opérateur prend ou non la décision de les illuminer
 - Mode manuel. L'opérateur pilote lui-même la tourelle (orientation et tir)
 - Le système complet comprend une liaison SATCOM pour la communication de la position des cibles
 - Expérimentation avec des essais de pointage sur cible fixe mesurée par le GPS qui a pu valider la cohérence du système



Travaux accomplis en 2021



Travaux accomplis en 2021

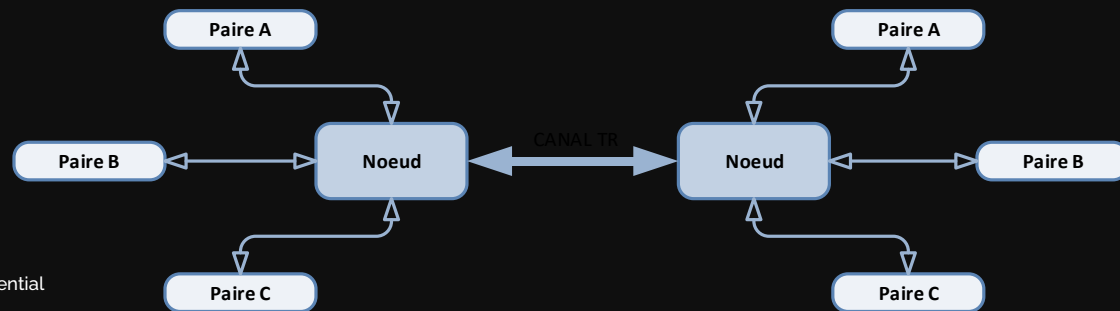
Interception et Simulation Radar

- **Contribution scientifique, technique et technologique en 2021**
 - Recherche d'un procédé d'agrégation et de régulation de messages temps réel
 - Gestion du trafic de données de multiples communications réseau
 - Multiplexage de données et de commandes de plusieurs canaux de communication bidirectionnels
 - Régulation de débit, latence déterministe et optimisation des paquets de transmission
 - Développement d'une stratégie d'Intelligence Artificielle pour l'identification automatique des émetteurs radars
 - Développement d'une chaîne d'Intelligence Artificielle pour la mesure de similarité de signaux radars (brevet déposé)

Travaux accomplis en 2021

Interception et Simulation Radar

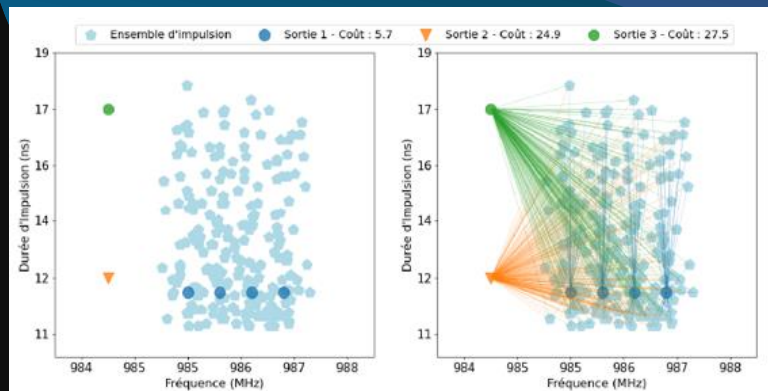
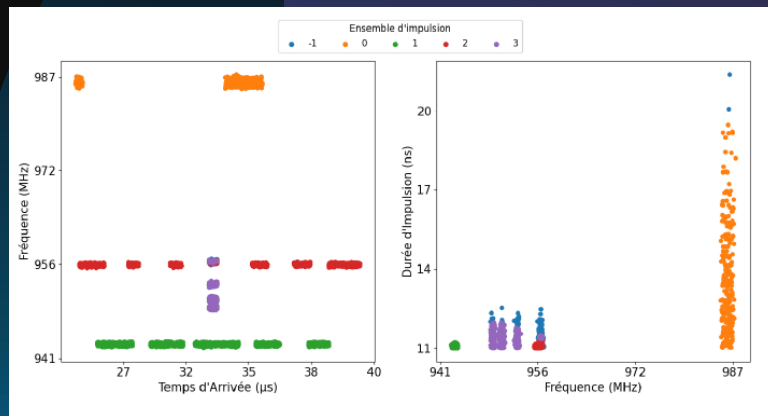
- **Axe de recherche 1 : Conception et développement de démonstrateurs pour l'interception radar**
 - Développement d'un procédé d'agrégation et de régulation de messages temps réel
 - L'application est l'échange de données entre sites très sécurisés et sur un canal partagé entre plusieurs applications défense avec des contraintes de bande-passante limitée et de volume important de données à transférer sans latence
 - Définition et mise en œuvre d'un procédé de segmentation et de principes de régulation et de multiplexage
 - Composant de régulation :
 - Supervision et contrôle de la bande passante.
 - Fonction des débits autorisés et des caractéristiques de la couche de transport utilisée entre les nœuds.
 - Composant de multiplexage des données (MxDx) ;
 - En charge de la gestion de la segmentation, des files d'attente, de l'ordonnancement et de l'agrégation des paquets de données.
 - Fonction du composant de régulation et de la priorité des messages/données à émettre.



Travaux accomplis en 2021

Interception et Simulation Radar

- **Axe de recherche 1 : Conception et développement de démonstrateurs pour l'interception radar**
 - Développement de la stratégie d'Intelligence Artificielle pour l'identification automatique des émetteurs radars
 - Mise en œuvre et évaluation des méthodes qui ont fait l'objet de publications scientifiques
 - Désentrelacement des impulsions par HDBSCAN
 - Regroupement des impulsions d'un même radar par un algorithme agglomératif hiérarchique utilisant des distances de transport optimal (figure du haut : 4 radars)
 - Classification des radars basée sur l'élaboration d'une distance entre un ensemble d'impulsions radars reçues et une description des caractéristiques d'un émetteur radar à partir d'une base de données de référence (figure du bas en bleu)
 - Résultats d'expérimentation obtenus sur les données simulées très encourageants



Travaux accomplis en 2021

Interception et Simulation Radar

- **Axe de recherche 1 : Conception et développement de démonstrateurs pour l'interception radar**
 - Développement d'une chaîne d'Intelligence Artificielle pour la mesure de similarité de signaux radars
 - Développement d'une fonction de rattacher les émissions issues des mêmes émetteurs et identifier leurs sous-modes dans le cas où ils sont connus
 - Au regroupement des émissions qui ont été générées par le même émetteur
 - À la détection d'émetteurs inconnus
 - À l'identification d'émetteurs radars
 - Développement d'une solution d'apprentissage automatique d'une mesure de similarité de signaux radars à partir d'une chaîne d'Intelligence Artificielle alliant algorithmes supervisés et non supervisés. Cette solution a fait l'objet d'un dépôt de brevet
 - Développement d'une solution qui allie un algorithme de classification binaire (supervisé) et un algorithme de regroupement hiérarchique ascendant (non supervisé)
 - Réalisation d'une expérimentation avec une implémentation de la solution. Les tests, réalisés sur une base de données simulées, ont montré de bons résultats. Il reste des interrogations sur le fonctionnement de la solution avec des données réelles non encore disponibles

Travaux accomplis en 2021

Interception et Simulation Radar

- **Axe de recherche 2 : Conception et développement d'une plateforme de simulation radar**
 - Reprise de l'architecture d'un simulateur multi radars multi directions d'arrivée pour obtenir la performance voulue
 - Atténuation du bruit et des raies parasites par réduction des mélanges de fréquence et ajout d'un tiroir de filtrage
 - Expérimentation du prototype d'illuminateur radar d'avion de chasse avec suivi en vol

Questions

Thank you!

For more information please contact:

M+ 33 6 19781022

philippe.charton@atos.net

Atos is a registered trademark of Atos SE. October 2022. © 2022 Atos. Confidential information owned by Atos, to be used by the recipient only. This document, or any part of it, may not be reproduced, copied, circulated and/ or distributed nor quoted without prior written approval from Atos.

