

Présentation de l'opération R&D : Interception Surveillance Reconnaissance (ISR)

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

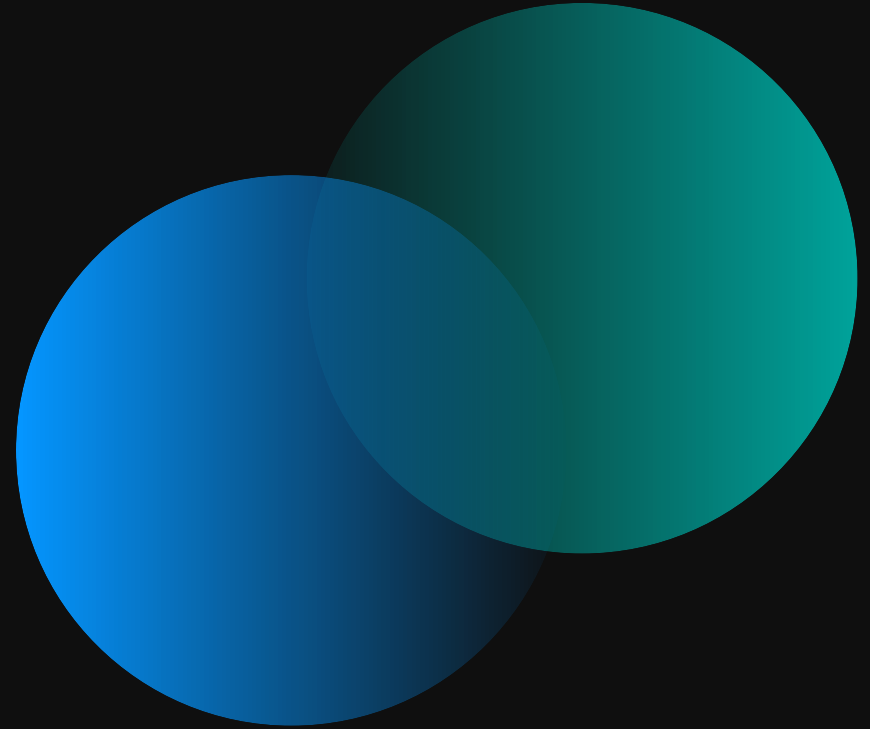
03. Verrous technologiques

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 Surveillance Reconnaissance (ISR)

- **Méthodologie de sélection de l'opération de R&D**
 - Exploitation des connaissances tirées de la recherche en goniométrie et de l'expérience pratique du Ministère des Armées pour concevoir des systèmes ISR pour les avions de combat et les drones de surveillance
 - 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 Surveillance Reconnaissance (ISR)

- **Opération de R&D dans le cadre de l'activité de l'entreprise**
 - La France a confirmé dans Le Livre Blanc de la Défense et de la Sécurité Nationale - et dans la Loi de Programmation Militaire associée - sa volonté de se doter de moyens de renseignement, points nodaux d'une capacité d'appréciation autonome des situations et de l'efficacité opérationnelle des forces, y compris sur les théâtres extérieurs.
 - A ce titre, il est fait mention de la composante essentielle que représente le renseignement d'origine électromagnétique (ROEM) avec notamment la nécessité d'utiliser des moyens divers tels que les drones de moyenne altitude longue endurance (MALE), les drones tactiques et les avions légers de surveillance et de reconnaissance. Équipés de capteurs ROIM et ROEM, ces moyens permettent de détecter, localiser et suivre des cibles potentielles.

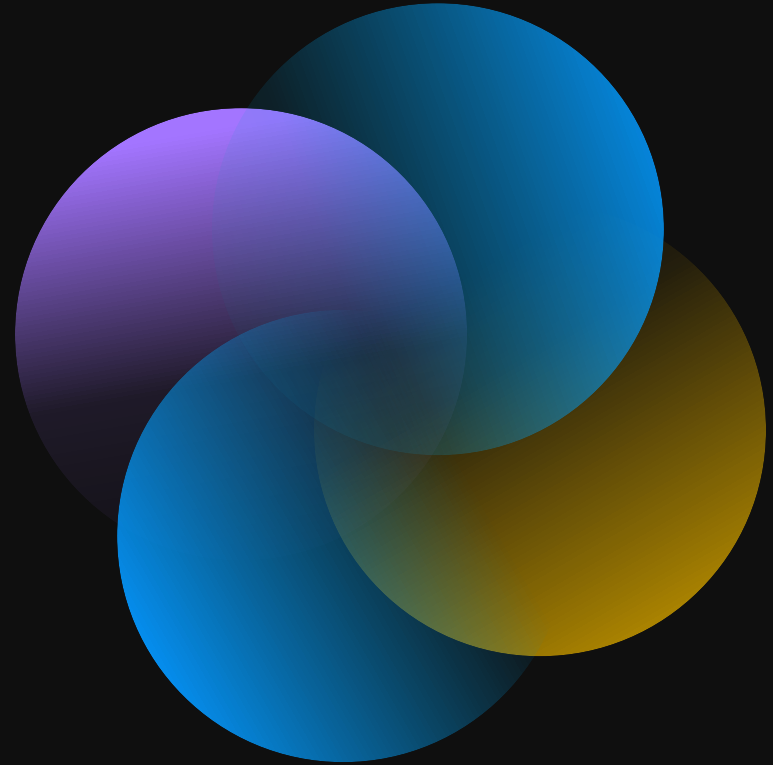
Objet de l'opération de R&D

Interception Surveillance Reconnaissance (ISR)

- Indicateurs de R&D

- Brevet « Procédé de détermination conjointe de la direction d'arrivée et de la polarisation d'un signal »
- Brevet « Processing Method for Multi-Target Detection, Characterisation and Tracking and Related Device »
- Brevet « Amélioration du pouvoir séparateur spatial d'un clustering de localisation travaillant au fil de l'eau »
- Brevet « Mesure optimale de la table de calibration d'un système goniométrique bande basse multipolarisation sur porteur aérien. »
- Brevet « Interpolation de la table de calibration sans référence de phase »
- Brevet « Synchronisation temporelle du balayage fréquentiel d'un système goniométrique aéroporté avec celui du système de calibration au sol »

Etat de l'art



Etat de l'art

Interception, Surveillance et Reconnaissance

▪ Etat de l'art divisé en 2 parties :

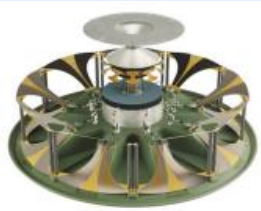
- Systèmes antennaires de goniométrie
 - Large bande (30-3000 MHz)
 - Compact (intégrable dans un cylindre de Ø 80 cm et de hauteur 40 cm)
 - Double polarisation linéaire
- Capteur embarqué :
 - Algorithmes de détection
 - Algorithmes de localisation de sources

Application
aéro

Etat de l'art

Interception, Surveillance et Reconnaissance

■ Quelques goniomètres sur le marché :

Système de goniométrie	Schéma ou photo	Dimensions	Bande de fonctionnement	Poids	Valeurs de sensibilité/gain remarquables	Rayonnement & polarisation	Limitation principale
R&S® ADD253		Ø 1.1 m h = 30 cm	20 MHz – 3 GHz	36 kg	Entre 2 $\mu\text{V/m}$ et 10 $\mu\text{V/m}$ (pour fournir une précision de localisation de 2° rms obtenue sur une bande passante de 0.6 kHz avec un moyennage d'une seconde)	<u>Polarisation</u> : V <u>Rayonnement</u> : omnidirectionnel	Goniométrie 2D
TCI® 647 D		Ø 1.3 m h=70 cm	20 MHz – 8 GHz	46 kg	<u>En polarisation verticale</u> : À 40 MHz : S = -16 dB $\mu\text{V/m}$ À 100 MHz : S = -21 dB $\mu\text{V/m}$ (pour un rapport signal sur bruit de 10 dB et sur une bande passante de 1 Hz avec un moyennage d'une seconde)	<u>Polarisation</u> : H et V <u>Rayonnement</u> : omnidirectionnel	Goniométrie 2D

=> Ne réponde pas au besoin en termes de dimensions, polarisation, ...

Etat de l'art

Interception, Surveillance et Reconnaissance

• Les antennes large bande dans la littérature scientifique :

Sources large bande	Fréquence minimale pour $S_{11} < -10\text{dB}$ pour une antenne dont la plus grande dimension est 30 cm	Polarisation	Valeur de gain réalisé remarquable pour une antenne dont la plus grande dimension est 30 cm	Rayonnement
Antenne spirale circulaire d'Archimède	333 MHz	Circulaire ou double polarisation linéaire	• 4 dBi à partir de 400 MHz • > -20 dBi à partir de 150 MHz	• Bidirectionnel sans plan réflecteur • Directif avec un plan réflecteur
Antenne sinueuse	420 MHz	Double polarisation linéaire	• 2-3 dBi à partir de 420 MHz • > -20 dBi à partir de 150 MHz	
Antenne Vivaldi	800 MHz	Linéaire	• $G = -5$ dBi à 330 MHz. • $G > 2$ dBi à partir de 600 MHz	• Directif
Antenne notch	120 MHz	Linéaire	• $G = 2$ dBi à 120 MHz • > -10 dBi à partir de 80 MHz	• Directif
Antenne monocone	170 MHz	Linéaire	• 2 dBi à partir de 170 MHz • > -20 dBi à partir de 70 MHz	• Omnidirectionnel
Antenne boucle	380 MHz	Linéaire	• 2 dBi à 380 MHz • > -20 dBi à partir de 130 MHz	• Omnidirectionnel

Etat de l'art

Interception, Surveillance et Reconnaissance

■ Techniques de miniaturisation d'antennes (surface)

<i>Antennes proposées</i>	Prototypes réalisés	Facteurs de miniaturisation
Antenne spirale à méandres volumiques (bobine)		1.35
Antenne spirale à méandres et cavité à profil sinusoïdal		1.375

Etat de l'art

Interception, Surveillance et Reconnaissance

▪ Objectifs

- Performances exigées des systèmes de radiogoniométrie et d'écoute :
 - La précision de mesure angulaire ;
 - La sensibilité ;
 - La vitesse de mesure.

Objectif étatique France : Permettre de déterminer la direction d'arrivée de tous les signaux détectables inclus dans la bande de fréquence [30MHz – 3GHz] et rester compatible avec des capacités de calcul de capteur embarqué pour un traitement temps réel

Etat de l'art

Interception, Surveillance et Reconnaissance

▪ Les techniques de goniométrie présentes dans la littérature (1/2) :

- La goniométrie d'amplitude : type Watson-Watt ;
- La goniométrie d'amplitude : type Adcock ;
- La goniométrie par interférométrie ;
- La corrélation vectorielle ;
- La formation de voies ;
- Estimation par la méthode CAPON ;
- MUSIC.

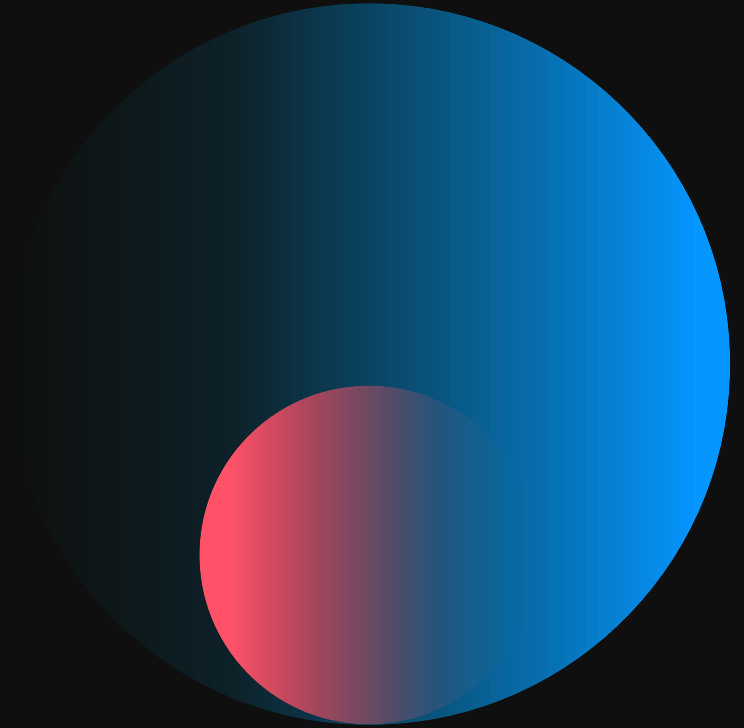
Etat de l'art

Interception, Surveillance et Reconnaissance

▪ Les techniques de goniométrie présentes dans la littérature (2/2) :

Algorithme de goniométrie	Avantages	Inconvénients
Goniométrie d'amplitude type Watson-Watt	- Simple à mettre en œuvre matériellement : trois voies de réception - Complexité faible	- Précision faible - Inadaptée pour les cas de goniométrie 3D - Inadaptée pour les gammes de fréquences larges
Goniométrie par corrélation vectorielle	- Mise en œuvre matérielle de difficulté moyenne - Complexité moyenne (table de calibration, calcul du critère de corrélation) - Prise en compte des couplages - Précision relativement bonne, - Adaptée pour les cas de goniométrie 3D - Adaptée pour les gammes de fréquences larges (~1 décade)	Inadaptée au cas multi-sources
Goniométrie par formation de voies	- Mise en œuvre matérielle de difficulté moyenne - Complexité moyenne (fonction de transfert normalisée, calcul du critère de formation de voie) - Prise en compte des couplages - Précision relativement bonne, - Adaptée pour les cas de goniométrie 3D - Adaptée pour les gammes de fréquences larges (~1 décade)	Inadaptée au cas multi-source (la séparation est possible dans certains cas, mais reste biaisée)

Verrous
technologiques



Verrous technologiques

Interception Surveillance Reconnaissance (ISR)

- Probabilité d'interception dépend de la stratégie de balayage
- Problématiques d'avoir un réseau antenneur beaucoup trop compact pour les fréquences basses
- La difficulté à reproduire, avec exactitude, en simulation ou lors de mesures en laboratoire (en chambre anéchoïque ou en espace libre par exemple) toute la complexité de l'environnement radiofréquence et le théâtre opérationnel réel
- Le contexte d'environnement radiofréquence réel dense et d'émission simultanée de milliers d'émetteurs posent également des problèmes de récupération et traitement de l'information par la solution, et de localisation des émetteurs
- Précision de la localisation dépend des facteurs suivants
 - Des performances du système antenneur
 - 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 vectorielle
 - Trois paramètres doivent être pris en compte : le gisement, l'élévation et la polarisation de l'onde
 - De la capacité de traiter en temps réel et de distinguer les signaux pouvant être émis par plusieurs sources

Verrous technologiques

Interception Surveillance Reconnaissance (ISR)

- **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 sur un avion, un hélicoptère ou un drone
 - 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 Surveillance Reconnaissance (ISR)

- Contribution scientifique, technique ou technologique
 - Conception d'un nouveau démonstrateur du calculateur compatible des porteurs aériens.
 - Conception revue de dissipation de chaleur et résistance au feu → électronique par conduction cooling
 - Validation de la compatibilité du démonstrateur technique avec la version initiale
 - Évaluation de la précision de la calibration de l'antenne en environnement réel

Travaux accomplis en 2019

Interception Surveillance Reconnaissance (ISR)

- Conception d'un démonstrateur de calculateur durci à l'environnement aéronautique
 - Nouvelle conception de l'ensemble des cartes électroniques
 - Utilisation de la technologie de dissipation thermique par conduction cooling (refroidissement par conduction)
 - Optimisation du volume occupé dans le châssis
 - Amélioration des performances radio fréquences
 - Simulations thermiques pour déterminer le meilleur agencement de carte électronique et les meilleures géométries de conduits métalliques possibles pour remplir les exigences de dissipation thermique



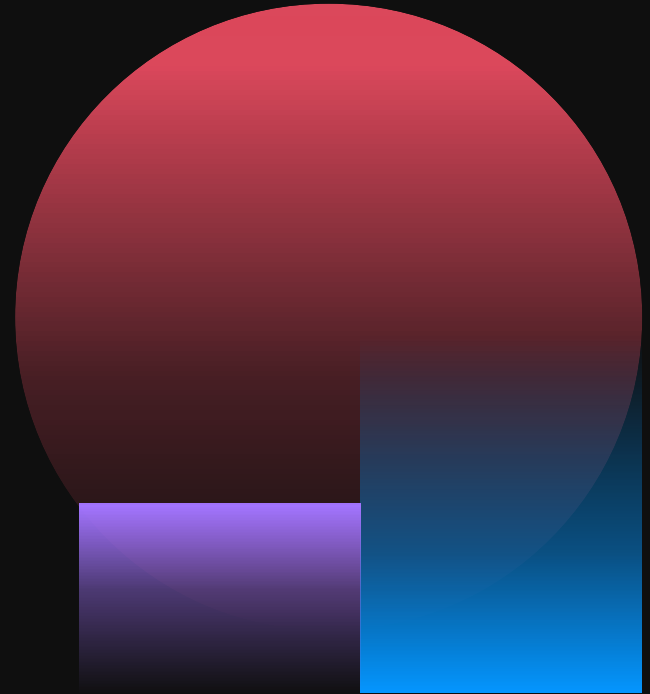
Travaux accomplis en 2019

Interception Surveillance Reconnaissance (ISR)

- **Poursuite des évaluations du démonstrateur technique**
 - Evaluation en chambre anéchoïque de la réponse de l'antenne intégrée dans le démonstrateur
- **Evaluation de la précision de la table de calibration**
 - Les mesures précédente ont permis de vérifier et d'améliorer la précision de la table de calibration
 - Ces mesures ont été complétée par des mesures en hauteur à partir d'un ballon dirigeable
- **Evaluation de la capacité de détection du démonstrateur**
 - Une seconde campagne d'essais sur ballon dirigeable a été menée pour évaluer et mettre au point :
 - La capacité à détecter / localiser dans les hautes fréquences des BTS et des téléphones mobiles (de tous types)
 - La fonctionnalité et l'ergonomie de nouvelles interfaces conçues pour la programmation de la localisation d'émetteurs par plan de balayage en fréquence
 - L'algorithme de clustering, pour la détection au choix de cibles fixes ou mobiles
- **Création d'une nouvelle méthode de calibration**



Travaux accomplis
en 2020



Travaux accomplis en 2020

Interception Surveillance Reconnaissance (ISR)

- Contribution scientifique, technique et technologique
 - Nouvelle méthode de calibration plus efficiente et extrapolable pour la construction d'une table de calibration fiable et complète.
 - Amélioration des performances de notre algorithme de détection (clustering) en termes de séparation spatiale, de portée, et de localisation précise de cibles multiples

Travaux accomplis en 2020

Interception Surveillance Reconnaissance (ISR)

- Axe de recherche 1 : Développement et expérimentation de la nouvelle méthode de calibration
 - Influence de la forme de l'avion en bande basse → verrou en bande basse → calibration avec l'avion
 - Développement des outils de calibration
 - Emetteur au sol avec son logiciel de pilotage
 - Synchronisation avec le bord
 - Expérimentation réelle pour la mise au point
 - Développement d'un algorithme d'interpolation de table de calibration pour toutes les positions manquantes
 - L'expérimentation a montré une capacité à établir une table de calibration fiable et complète en bande basse

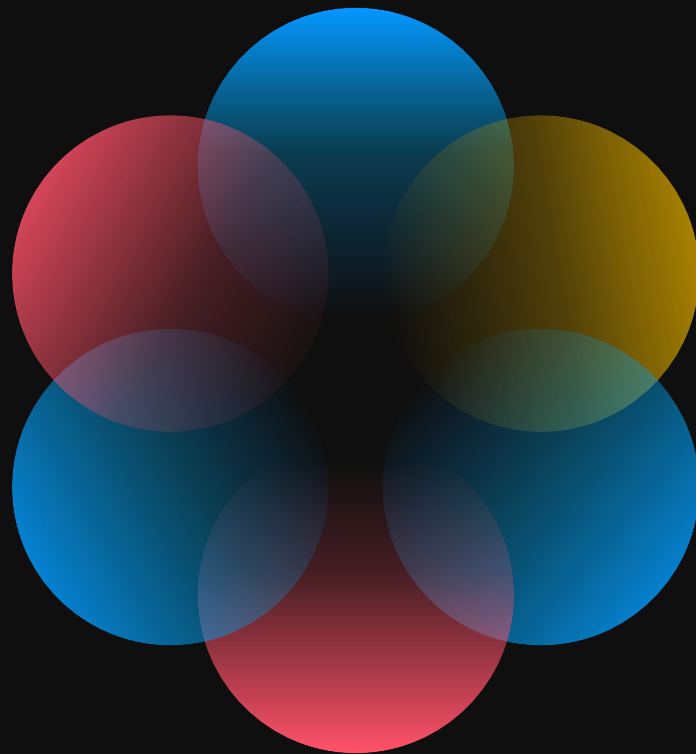


Travaux accomplis en 2020

Interception Surveillance Reconnaissance (ISR)

- **Axe de recherche 2 : Amélioration de la détection des émetteurs par l'algorithme de clustering**
 - Nous avons commencé par développer une première version de l'algorithme (Matlab) basée sur des hypothèses de goniométrie standards et théoriques.
 - Cet algorithme a été développé de façon itérative à l'aide d'un simulateur de scénarios pour évaluation continue des performances.
 - Les premiers résultats d'évaluation de l'algorithme ont mis en évidence un défaut important de séparation spatiale des sources d'émission
 - Nous sommes parvenus à déterminer que ces défauts étaient la conséquence des hypothèses goniométriques trop théoriques sur lesquelles avaient été articulées les phases de conception et de simulation de l'algorithme
 - Nous avons ainsi réitéré les phases de conception et d'évaluation de l'algorithme sur données goniométriques réelles et avec une antenne calibrée afin de s'affranchir de ce phénomène et développer une nouvelle version plus représentative de la réalité terrain
 - Une expérimentation en vol a permis de finaliser les ajustements de l'algorithme dont l'amélioration a été obtenue par itération grâce à plusieurs campagnes d'essais en vol
 - A l'issue de ce deuxième axe de recherche, nous sommes parvenus à améliorer les performances de notre algorithme de clustering en termes de séparation spatiale, de portée, et de localisation précise de cibles multiples

Travaux accomplis en 2021



Travaux accomplis en 2021

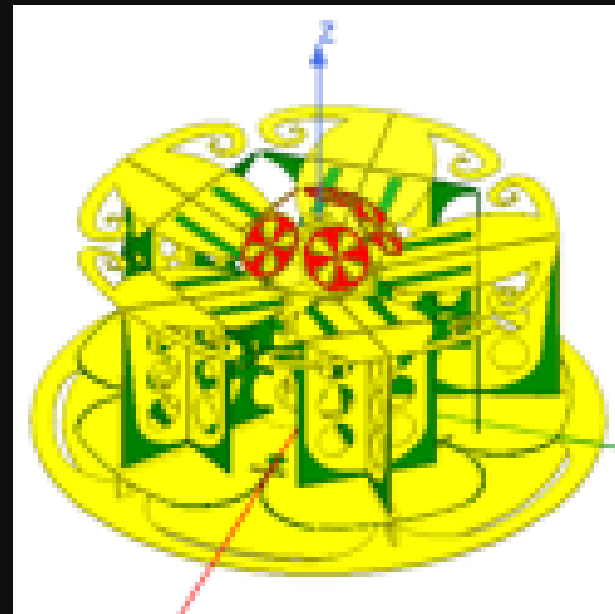
Interception Surveillance Reconnaissance (ISR)

- Contribution scientifique, technique et technologique en 2021
 - Conception d'un système plus performant avec :
 - Amélioration de la robustesse de notre prototype dans des conditions climatiques extrêmes (froid, salinité, etc.) ;
 - Réalisation d'une vaste phase expérimentale en conditions réelles de notre prototype de système calculateur / antenne pour une large plage de fréquences (30 MHz à 3000 MHz) qui nous a permis
 - Valider le fonctionnement global de notre prototype
 - Démontrer l'intérêt d'une nouvelle approche algorithmique hybride pour la localisation de cible (par localisation instantané et par défilement).

Travaux accomplis en 2021

Interception Surveillance Reconnaissance (ISR)

- Axe de recherche 1 : Développement d'un nouveau prototype d'antenne robuste à des conditions climatiques extrêmes
 - Problématique thermique
 - Résistance aux basses températures (au minimum -50°C) → aucun composant compatible → intégration de chauffage
 - Simulations thermiques pour les températures hautes
 - Problématique des voies d'écoute en bande basse
 - Formation d'une antenne omni par la sommation de 5 antennes directionnelles → amélioration de la régularité du diagramme de rayonnement
 - Ajout d'un inclinomètre
 - Modification de conception → Optimisation de production



Travaux accomplis en 2021

Interception Surveillance Reconnaissance (ISR)

- **Axe de recherche 2 : Réalisation d' une expérimentation menée pour l'état français pour la validation du système de calculateur / antenne dont les conclusions ont été :**
 - Calibration de la bande basse démontrée avec un temps de vol limité
 - Capteur opérationnel sur l'ensemble de la bande de fréquences
 - Précisions de localisation apportent une nouvelle capacité pour l'opérateur ROEM
 - Localisation quasi-instantanée permet à l'opérateur une exploitation automatique et immédiate en un seul passage sur une zone ainsi qu'une augmentation des probabilités d'interception des communications courtes (type PMR)
 - Capacité de localisation par défilement à l'horizon est possible et a été clairement une avancée pour le produit
 - Portées de localisation à l'horizon procurent une grande flexibilité d'emploi de la charge
 - Bon pouvoir de séparation spatial des cibles
 - Fonctionnement en environnement dense
 - Champ large du capteur avec vision à 360° en demi-sphère permet la mesure avec un aéronef en virage
 - Capacité démontrée de suivi de cible en véhicule
 - Validation de la voie d'écoute
 - Système d'Information simple et ergonomique;
 - Interface avec l'optronique qui permet l'identification simple et immédiate

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.

