

Présentation de l'opération R&D : Interception de Faisceaux Hertziens

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

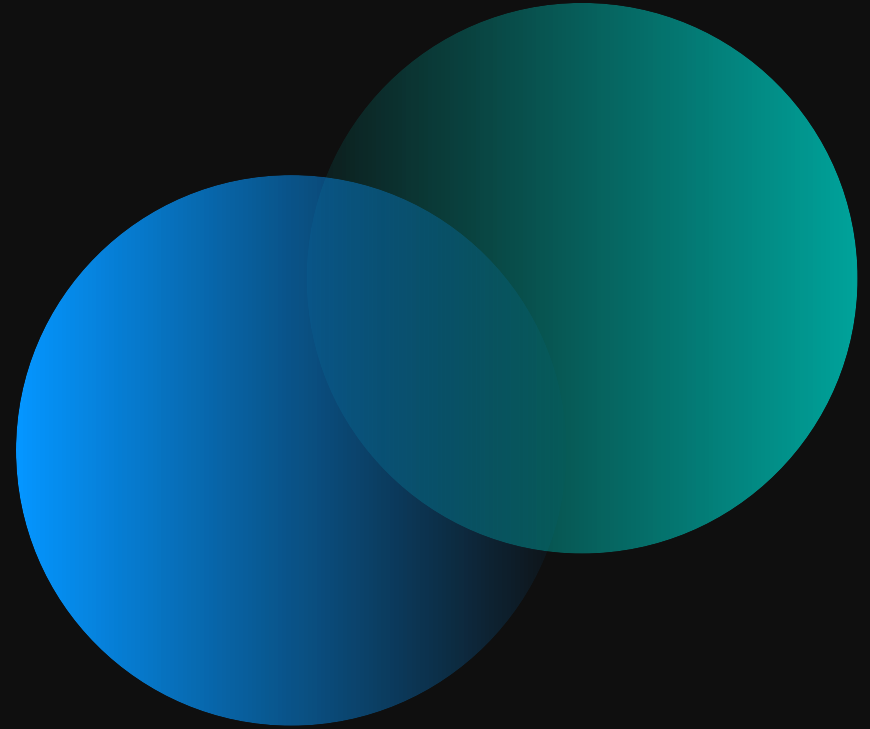
03. Verrous technologiques

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 de Faisceaux Hertziens

- **Méthodologie de sélection de l'opération de R&D**
 - Travaux dans les domaines de la cybersécurité, de l'interception des télécommunications et du machine learning.
 - Nouvelles connaissances ➔ nouveaux outils critiques pour les opérations de renseignements nationaux et internationaux.
 - 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. »
- **Opération de R&D dans le cadre de l'activité de l'entreprise**
 - Conception de solutions pour intercepter les ondes en provenance de Faisceaux Hertziens et analyser le signal pour recréer l'information véhiculée, et ce dans un but de surveillance ou de collecte de renseignements
 - Avec l'évolution des technologies, les principaux besoins de l'interception FH sont :
 - Diminution de l'encombrement et de la complexité d'emploi des dispositifs sans dégrader leurs performances
 - Amélioration des performances de calcul pour suivre l'augmentation du débit des FH
 - Amélioration des algorithmes de traitement avec de bonnes performances pour l'analyse de signaux plus sophistiqués (modulations complexes d'ordre élevé et de fort débit)

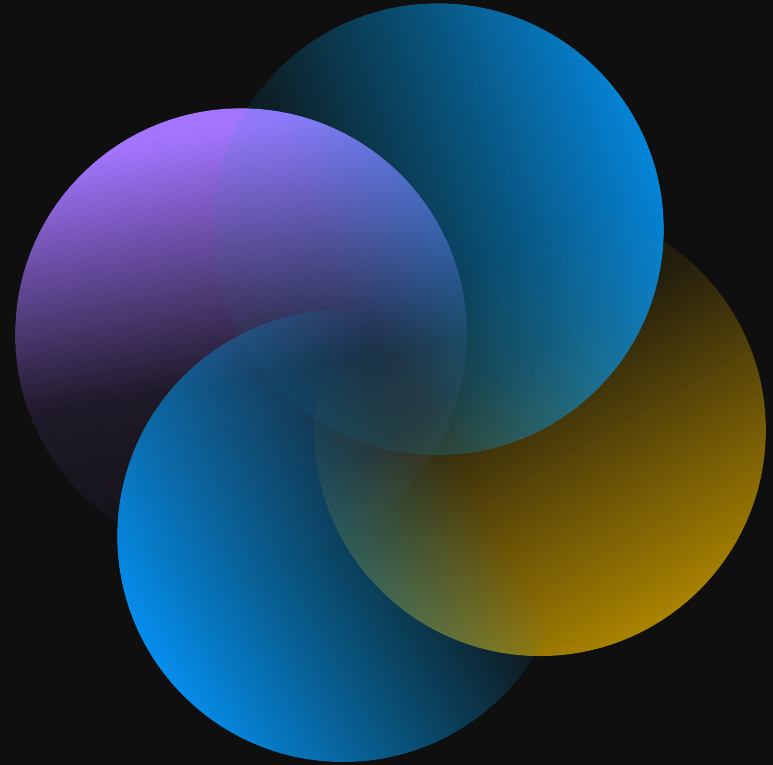
Objet de l'opération de R&D

Interception et Simulation Radar

- Indicateurs de R&D

- Brevet « Retro-propagation d'erreur pour une chaîne de modulation en aveugle d'un signal de télécommunication »
- Brevet « Synchroniseur adaptatif pour une chaîne de démodulation »
- Brevet « Système de démodulation ou de recherche en aveugle des caractéristiques de signaux de télécommunication numérique »
- Brevet « Système de démodulation aveugle de signaux de télécommunication numérique »
- Brevet « Système de démodulation aveugle de signaux de télécommunication numérique »

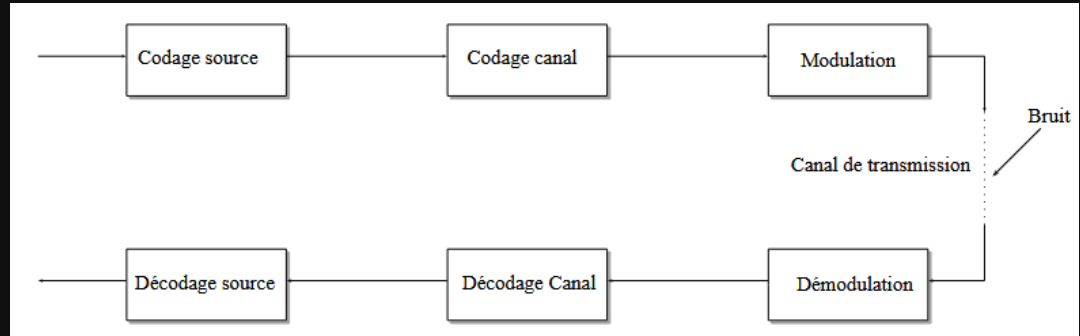
Etat de l'art



Etat de l'art

Interception Faisceau Hertzien

■ Principes de base de traitement du signal :



- Codage source : consiste à éliminer la redondance de manière à réduire la quantité de données à transmettre ;
- Codage canal : Pour contrer les perturbations liées au canal de transmission (provoquant un altération des données) -> Codes correcteurs d'erreurs (ajout de la redondance à l'information).
- Modulation : consiste à transformer un message en un signal adapté à la transmission sur un support physique ;
- Démodulation et décodage : consistent à réaliser des opérations inverses pour extraire le signal modulé.

Etat de l'art

Interception Faisceau Hertzien

■ Principes de base (Modulation) :

- Modulation par onde porteuse : La modulation par onde porteuse consiste à transmettre de l'information en modifiant un ou plusieurs paramètres de cette onde porteuse :
 - ASK
 - PSK
 - FSK
 - QAM

-> Afin d'améliorer la robustesse et le débit de transmission : la modulation ACM (Adaptive and Coding Modulation)

- Caractère adaptatif : Les rendements de codage et les constellations utilisés varient en fonction de la qualité du signal. Cette modulation va choisir celle qui permet un meilleur débit si le canal de transmission est bon, ou alors une meilleure robustesse si le canal de transmission est dégradé

Etat de l'art

Interception Faisceau Hertzien

■ Modulation ACM

- Plusieurs techniques de codage référencées dans la littérature :

- Les codes Turbo (les plus anciens) :
Inconvénients : Complexité d'encodage et de décodage.
- Les codes LDPC (Low Density Parity Check) :
Avantages : Meilleures performances et complexité de décodage moindre.
Inconvénients : Complexité de codage.
- Les Polar codes (2009) : repose sur le phénomène de polarisation des canaux
Avantages : Faible complexité d'encodage et de décodage.

-> Aujourd'hui, de nouvelles techniques de codage font encore l'objet de recherches (dans des cas d'application spécifiques)

Etat de l'art

Interception Faisceau Hertzien

▪ Réception pour l'interception de FH :

1. Le récepteur recueille le signal transmis, puis le démodule pour retrouver le signal d'origine.
2. Le récepteur doit ensuite réaliser un **échantillonnage** afin de déterminer les éléments binaires transmis. Cependant, avant l'échantillonnage, on montre qu'il faut réaliser un **filtrage adapté à l'émetteur** pour une réception optimale des symboles transmis.
3. Déterminer les bits correspondant au symbole reçu après le filtre de réception.

-> Critère : La détection par maximum de vraisemblance pour connaître le symbole avec la plus grande probabilité.

Etat de l'art

Interception Faisceau Hertzien

- Problématiques liées à la démodulation adaptative (ACM)
- La démodulation de ce type de modulation fait également partie des recherches encore récentes dans le domaine
- Dans le cadre de systèmes non-coopératifs et aveugles, ces travaux font déjà face à des difficultés techniques (complexité d'encodage et de décodage, implémentation, temps-réel).



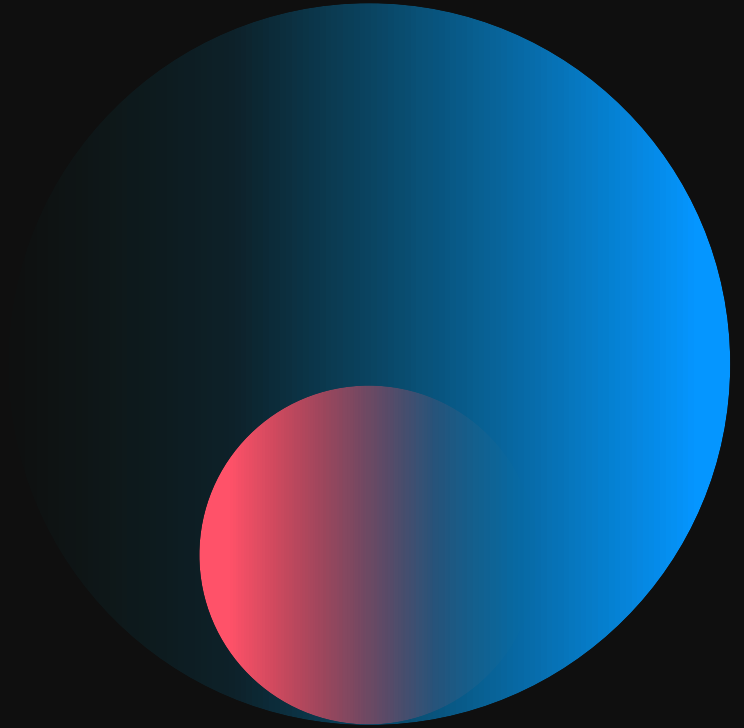
Le récepteur doit pouvoir fonctionner en dépit d'une connaissance très restreinte des caractéristiques de l'émetteur, et qu'ils ne peuvent en aucun cas communiquer, la réception devant être discrète.

Etat de l'art

Interception Faisceau Hertzien

- Critères de performances associés aux intercepteurs de faisceaux hertziens
- Les techniques de modulation sont en perpétuel développement et sont tournées vers une complexification de la modulation pour lutter contre l'interception, en particulier dans le cadre de la défense.
- Les principaux critères de performance :
 - Taux d'erreur symbole (représente le nombre d'erreurs apparues entre la modulation et la démodulation du signal) -> De nombreuses études récentes traitent de l'amélioration de ce taux d'erreur,
 - Rapidité et efficacité du traitement en temps-réel : Problématiques liés au temps de calcul en temps-réel et à la forte augmentation de la consommation électrique (enjeu majeur étudié par plusieurs publications).

Verrous
technologiques



Verrous technologiques

Interception de Faisceaux Hertziens

- **Problématique d'interception**

- Canal de propagation d'interception des faisceau hertzien très difficile
- Très grande diversité des modèles de faisceaux hertzien
- Codages canal et multiplexage propriétaires des fabricants
- Problématique des communications non coopératives, Estimation à l'aveugle les paramètres du signal tels que :
 - Type de modulation
 - Débit symbole
 - Fréquence porteuse
 - Facteur de roll-off
 - Mapping symboles/bits
 - Séquences de synchronisation
 - Changement du type de modulation en permanence
 - Constellations non conventionnelles présentant des extra-points issus de la modulation ACM combinant plusieurs techniques de modulation

Verrous technologiques

Interception de Faisceaux Hertziens

- **Contraintes de conception matérielle**
 - Conception de de la chaîne de traitement analogique hyper fréquences (Bruit de phase, SFDR, IP3, facteur de bruit)
 - Ressources de calcul disponibles en embarqué pour répondre à la contrainte de temps réel
 - Contraintes d'intégration (exemple : doit tenir dans une valise transportable en avion de ligne)
 - Durcissement des composants pour la tenue en environnement extrême
 - Dissipation thermique avec de fortes contraintes de température

Travaux accomplis en 2019



Travaux accomplis en 2019

Interception de Faisceaux Hertziens

- **Contribution scientifique, technique ou technologique**
 - Concevoir de nouveaux bancs de tests permettant une meilleure qualité de génération de signaux
 - Réaliser une étude de simulation d'interférences lors de la génération de signaux XPIC
 - Réaliser des études d'architecture d'un nouveau module eBDC plus performant qui permettra l'acquisition de signaux en bande E (60 à 80GHz)
 - Concevoir et évaluer de nouveaux prototypes de modules BDCA opérant dans les bandes K (18-26 GHz) et Ka (26-40 GHz), sur une largeur de bande de 1,5 GHz

Travaux accomplis en 2019

Interception de Faisceaux Hertziens

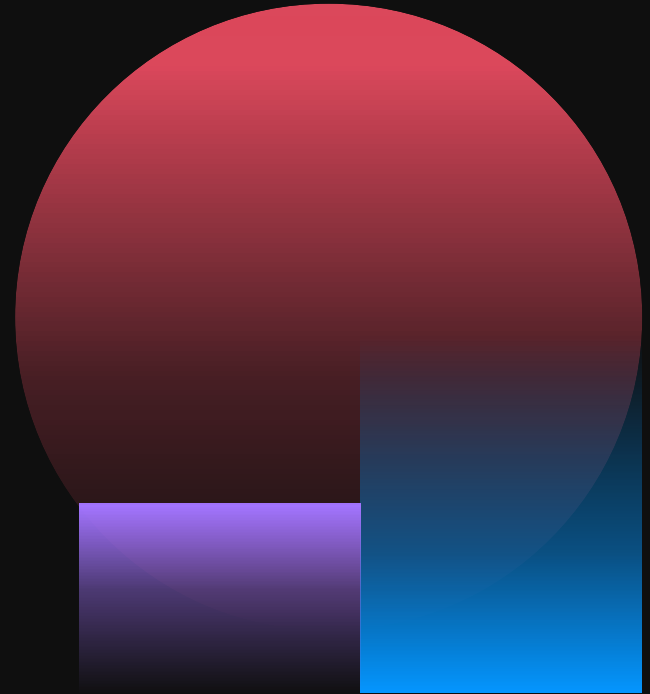
- **Modélisation du canal de transmission**
 - Analyse des canaux de propagation en interception de faisceaux hertziens
 - Modélisation fine du milieu de propagation qui a permis :
 - Définition de spécifications précises de développement d'une chaîne d'acquisition et de traitement adaptée
 - Estimation des performances de démodulation
- **Amélioration de la chaîne de démodulation et d'égalisation**
 - Investigation des effets du filtrage sur l'amélioration des performances de démodulation
- **Reprise de conception de bancs de test**
 - Concevoir de nouveaux bancs de tests permettant une meilleure qualité de génération de signaux
- **Simulation d'interférence entre les deux composantes de la partie XPIC**
 - Expérimentation de mesure de dégradation des performances de démodulation en fonction du niveau d'interférence entre voies

Travaux accomplis en 2019

Interception de Faisceaux Hertziens

- **Etude d'architectures pour le module eBDC**
 - Conception d'une nouvelle solution de module eBDC capable d'acquérir des signaux en bande E (60 à 90 GHz) sur des largeurs de bandes de 2 GHz
 - Elaboration et test de plusieurs architectures avec des simulations de consommation et de portée de l'antenne dans différentes conditions météorologiques
- **Conception et début d'évaluation de démonstrateurs de module BDCA**
 - Conception de deux prototypes de module BDCA : un en bande K (18-26 GHz), l'autre en bande Ka (26-40 GHz) avec acquisition sur une largeur de bande de 1.5 GHz
 - Campagnes d'essais des prototypes avec une évaluation en étuve et des tests climatiques pour chaque fréquence à différentes températures entre -20°C et +60°C

Travaux accomplis
en 2020



Travaux accomplis en 2020

Interception de Faisceaux Hertziens

- **Contribution scientifique, technique et technologique**
 - Initier la programmation d'un algorithme innovant de traitement des extra-points sur des constellations exotiques
 - Développer une solution de démodulation rapide basée sur un système de scores
 - D'étudier la faisabilité de l'élargissement de la bande de fréquence de travail de l'intercepteur à 2-18 GHz
 - Mettre en place un réglage en mapping différentiel pour nos solutions d'interception et démodulation
 - Ajouter des fonctionnalités spécifiques et originales comme le Cross-Over ou l'ajout de trame binaires au démultiplexeur

Travaux accomplis en 2020

Interception de Faisceaux Hertziens

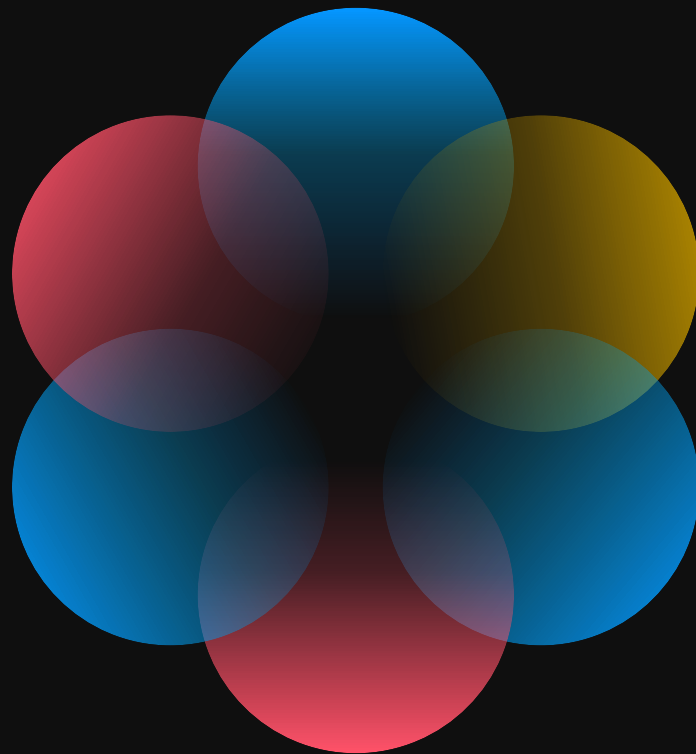
- **Axe de recherche 1 : Amélioration des critères de performance des intercepteurs**
 - Recherche d'une méthode de traitement des extra-points sur les constellations exotiques (XPIC)
 - L'introduction de l'ACM (Adaptative Coding & Modulation) sur les faisceaux hertziens a ajouté des périodes de synchronisation durant lesquelles la modulation est différente avec des points hors de la constellation de la modulation de trafic de données, vus comme des extra-points par le démodulateur
 - Une première piste de recherche a consisté à modifier les coefficients de l'algorithme de traitement afin d'aboutir à des configurations où l'algorithme convergeait même en présence des extra-points
 - L'expérimentation menée avec cette méthode a montré une dégradation des performances de démodulation
 - Une seconde piste de recherche a consisté à un ajout des extra-points dans la constellation de base
 - L'expérimentation menée avec une seconde méthode a aussi montré une dégradation des performances de démodulation mais moins importante que la première
- Développement d'une solution de démodulation rapide « Auto-Reco » : Développement d'un outil capable d'estimer tous les paramètres du signal sans information préalable (fréquence exacte, ordre de modulation, roll-off, ordre de débit du signal)
- Recherche de points de fonctionnement en température des récepteurs BDCA en expérimentation en étuve

Travaux accomplis en 2020

Interception de Faisceaux Hertziens

- **Axe de recherche 2 : Travail sur les modes de fonctionnement et les conditions de fonctionnement**
 - Étude technique de faisabilité d'élargissement de la bande de fréquence d'un nouvel intercepteur à 2-18 GHz qui a permis de déterminer le type d'architecture et la méthode de conception pour y parvenir
 - Mise au point du réglage du mapping différentiel
 - Poursuite de l'étude de faisabilité d'une solution de module Front-End eBDC en bande E (60 à 90 GHz)
- **Axe de recherche 3 : Ajout de fonctionnalités aux intercepteurs**
 - Etude de faisabilité d'ajout au démodulateur de chaînes de traitement binaire du démultiplexeur
 - Reprise de conception pour ajouter une fonctionnalité au démodulateur prototype qui permet à l'utilisateur de permuter les bits et de les inverser. Ce traitement était auparavant réservé au démultiplexeur

Travaux accomplis en 2021



Travaux accomplis en 2021

Interception de Faisceaux Hertziens

- **Contribution scientifique, technique et technologique en 2021**

- Dans le cadre de l'amélioration de la démodulation adaptative pour traiter les extra-points sur les constellations exotiques, une nouvelle méthodologie s'avère prometteuse. Elle consiste à découper la constellation résultante en deux constellations à traiter séparément.
- Dans le cadre de la conception d'un nouveau récepteur 2-18 GHz, nous avons pu procéder par itérations successives (simulations puis prototypage). L'architecture résultante dépasse ainsi les performances des solutions existantes. Nous avons déjà réalisé par le passé des prototypes similaires, mais dont les exigences en termes de spécifications étaient bien moins ambitieuses. Pour les dépasser, nous avons mis à profit l'évolution des moyens de simulation et de test pour garantir le traitement de signaux inédits dans ce type de système.
- Dans le cadre du développement d'interception HF, nous avons développé de nouvelles méthodologies de gestion de l'arrivage de paquets, de gestion des répétitions, et de gestion de la variation des protocoles, via de nombreux tests expérimentaux. Nous avons ainsi abouti à un prototype fonctionnel. Cette architecture logicielle pourra être exploitée dans le cadre de la conception d'autres produits, dont les performances doivent être similaires.

Travaux accomplis en 2021

Interception de Faisceaux Hertziens

- **Axe de recherche 1 : Amélioration des performances des intercepteurs**
 - Traitement des extra-points sur les constellations exotiques
 - Conception d'une démodulation adaptative pour traiter le format des trames de la modulation ACM
 - Nos recherches nous ont conduit à considérer une constellation exotique résultante comme la somme de deux constellations
 - Développement d'un algorithme de démodulation pour chacune des deux constellations, afin d'extraire les symboles sous-jacents du signal
 - Les recherches portent sur les difficultés récurrentes de la démodulation en aveugle, où seule la constellation globale est connue, difficultés qui sont ici multipliées du fait de la complexité de la constellation reçue et du fait qu'en modulation ACM, cette constellation change en fonction du symbole.
 - Développement d'une nouvelle méthodologie d'égalisation pour que l'égalisateur puisse gérer la constellation exotique, qui peut présenter des asymétries par quadrant (ce qui n'est pas le cas sur une constellation classique). Ceci a nécessité de revoir les différentes étapes :
 - Synchronisation de l'échantillonnage, qui doit être fait à la bonne fréquence ;
 - Correction fréquentielle ;
 - Poursuite de variation de phase ;
 - Egalisation, qui doit compenser les interférences dues à l'éventuelle propagation multi trajet.

Travaux accomplis en 2021

Interception de Faisceaux Hertziens

- **Axe de recherche 2 : Travail sur les modes et les conditions de fonctionnement des intercepteurs**
 - Conception d'un récepteur deux voies (XPIC) large bande 2-18GHz, placé sur l'antenne, transmission par fibre optique
 - Recherche d'optimisation des paramètres hyper fréquences : bruit de phase, IP3, SFDR, facteur de bruit.
 - Contrainte de conception : Compacité et tenue à l'environnement extérieur : le système doit être étanche et fonctionner jusqu'à une température de 60°C
 - Démarche expérimentale :
 - Analyse de l'existant interne et externe
 - Première conception théorique du système
 - Simulations du comportement du système
 - Multiples itérations
 - Simulations thermiques et essais du prototype en étuve thermique
 - Conception des cartes électroniques
 - Essais sur prototype fonctionnel

Travaux accomplis en 2021

Interception de Faisceaux Hertziens

- **Axe de recherche 2 : Travail sur les modes et les conditions de fonctionnement des intercepteurs**
 - Conception d'un récepteur HF adaptatif, non coopératif, de protocoles de communication non standardisés
 - Démarche expérimentale de tests et itérations sur la partie couches basses de la communication au niveau logiciel
 - L'ensemble des étapes a dû être revu : démodulation, égalisation, décodage, démultiplexage
 - Des traitements particuliers ont été mis en place pour la gestion des problématiques suivantes :
 - Reconstitution de la communication
 - Gestion des répétitions
 - Gestion de l'interprétabilité de la norme

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.

