

Proposition de thèse 2024

## **Métasurfaces absorbantes et à codage spatiotemporel pour la réduction de la surface équivalente RADAR des satellites**

### Contexte et problématique

Les systèmes RADAR trouvent de nombreuses applications aussi bien dans le domaine civil que militaire. La réduction de la Surface Équivalente RADAR (SER) des objets est un enjeu important dans différents contextes. Par exemple, les RADAR de surveillance de la navigation aérienne ou maritime peuvent être perturbés par la présence d'ouvrages de grande hauteur dans leur zone de surveillance (éoliennes typiquement). L'efficacité des RADAR d'assistance à la conduite peut être compromise par la présence d'objets à forte SER dans leur champ de vision (panneaux publicitaires ou de signalisation, abris bus, etc.). Enfin, les satellites (civils ou militaires) peuvent désormais faire l'objet d'activités inamicales (tirs antisatellites, manœuvres de rapprochement, etc.) rendues possibles notamment par l'utilisation de RADAR de détection, localisation ou guidage.

La réduction de SER est traditionnellement envisagée en adaptant la forme des objets ou en les recouvrant partiellement ou totalement de matériaux absorbants. Depuis quelques années, une nouvelle solution fait l'objet de nombreux travaux de recherche : l'utilisation de métasurfaces (MS) [1].

Dans ce contexte, trois laboratoires académiques (IEMN, IETR et Lab-STICC) ont obtenu conjointement un financement auprès de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) pour travailler sur des techniques de réduction de la SER des satellites en utilisant des MS. Dans le cadre de deux thèses de doctorat, le projet CHORUS (Codage de pHase pOuR la fUrtivité Satellitaire) se concentrera sur l'étude de MS intégrant des matériaux absorbants et/ou des techniques de modulation spatiotemporelle.

### Axes de recherche et déroulement prévisionnel de la thèse

La thèse proposée sera tout d'abord centrée sur la modulation spatiotemporelle des MS [2], l'intégration de matériaux absorbants au sein de la MS sera envisagée dans un second temps. Les MS sont des surfaces artificielles constituées de motifs diffractants et potentiellement absorbants répartis en respectant une périodicité inférieure à la longueur d'onde.

Dans le cas d'une MS passive, en choisissant judicieusement les motifs tapissant la MS, il est possible de contrôler la réflexion électromagnétique en tout point de la surface et ainsi d'atteindre les propriétés souhaitées : focalisation du champ réfléchi, redirection du champ, diffusion du champ dans de multiples directions, absorption, dépolarisation, etc.

Une autre voie, plus complexe technologiquement, consiste à utiliser des motifs identiques sur toute la MS mais reconfigurables indépendamment les uns des autres. Ces derniers intègrent des éléments actifs de type commutateurs et permettent de modifier dynamiquement les propriétés en réflexion de la MS. Ce concept de MS reconfigurable ouvre de plus une nouvelle dimension : la possibilité de modifier le contenu spectral du champ rétrodiffusé. En effet, les commutateurs peuvent être pilotés avec des signaux variant temporellement sur la base d'une modulation binaire par une séquence pseudo-aléatoire.

Dans l'objectif de la réduction de SER, cette modulation spatiotemporelle offre des possibilités prometteuses en dispersant le signal rétrodiffusé à la fois angulairement et fréquentiellement. La thèse sera donc centrée sur l'exploration de ces techniques de modulation spatiotemporelle et pourra suivre les étapes suivantes :

- Etat de l'art sur la modulation spatiotemporelle des MS.
- Etude en simulation des potentialités de l'approche pour la réduction de SER.
- Conception, réalisation et mesure d'un prototype (dimensionnement, conception d'un motif reconfigurable, routage des commandes, électronique numérique de commande, réalisation en sous-traitance, définition de la campagne de mesures, mesures, analyses des résultats).
- Etude en simulation des potentialités de la combinaison de la technique de modulation spatiotemporelle et de l'utilisation de matériaux absorbants au sein de la MS pour la réduction de SER.

#### Dates, lieux de réalisation, direction et encadrement

- Début : octobre 2024.
- Financement complet sur 3 ans (minimum 2100 Euros brut par mois).
- Lieux : IETR Rennes (2 ans) et Lab-STICC Brest (1 an), la durée des deux périodes sera ajustée en fonction de l'avancement des travaux et des souhaits de la candidate ou du candidat.
- Direction de thèse : codirection Renaud LOISON (IETR) et Vincent LAUR (Lab-STICC).
- Encadrement : directeurs de thèse + Raphaël GILLARD (IETR).

#### Profil et candidature

- Profil : étudiant-e en M2 ou dernière année de formation d'ingénieur en électronique et/ou télécommunications.
- Candidature par email à :
  - o [Renaud.Loison@insa-rennes.fr](mailto:Renaud.Loison@insa-rennes.fr)
  - o [Vincent.Laur@univ-brest.fr](mailto:Vincent.Laur@univ-brest.fr)
  - o [Raphael.Gillard@insa-rennes.fr](mailto:Raphael.Gillard@insa-rennes.fr)
- Transmettre : CV + lettre de motivation + relevés de notes (Licence, M1) + lettre(s) de recommandation si possible (format pdf pour toutes les pièces).

#### Références

[1] Elineau, M., *“Techniques de contrôle de la SER à l'aide de métasurfaces – Application à des surfaces à réflexion anormale ou à transition de propriétés en réflexion”*, thèse IETR INSA Rennes.

[2] Zhang, L., Chen, X.Q., Liu, S. et al., *“Space-time-coding digital metasurfaces”*, Nat Commun 9, 4334 (2018), <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06802-0>.

PhD proposal 2024

## **Absorbing and spatiotemporally encoded metasurfaces for RADAR cross-section reduction of satellites**

### Context

RADAR systems find numerous applications in both civil and military fields. Reducing the RADAR Cross-Section (RCS) of objects is an important issue in different contexts. For example, air or maritime navigation surveillance RADAR can be disrupted by the presence of high structures in their surveillance zone (typically wind turbines). The effectiveness of driving assistance RADAR can be compromised by the presence of objects with high RCS in their field of vision (advertising or traffic signs, bus shelters, etc.). Finally, satellites (civilian or military) can now be subject to unfriendly activities (anti-satellite fire for instance) made possible using RADAR for detection, localization or guidance.

RCS reduction is traditionally considered by adapting the shape of objects or partially or completely covering them with absorbing materials. In recent years, a new solution has been the subject of lots of research works: the use of metasurfaces (MS) [1].

In this context, three academic laboratories (IEMN, IETR and Lab-STICC) jointly obtained funding from the French National Research Agency (ANR) to work on techniques for reducing the RCS of satellites using MS. As part of two PhD, the CHORUS project will focus on the study of MS integrating absorbing materials and/or spatiotemporal modulation techniques.

### Research axes and planned progress of the PhD

The proposed PhD will firstly focus on the spatiotemporal modulation of MS [2], the integration of absorbing materials within the MS will be considered in a second step.

MS are artificial surfaces made of diffracting and potentially absorbing cells distributed over the surface with a periodicity below the wavelength.

In the case of a passive MS, by judiciously choosing the cells of the MS, it is possible to control the electromagnetic reflection at any point on the surface and thus to achieve the desired properties: focusing of the reflected field, redirection of the field, field diffusion in multiple directions, absorption, depolarization, etc.

Another track, more complex technologically, consists of using identical cells throughout the MS but cells which can be reconfigured independently of each other. These cells integrate active elements such as switches and make it possible to dynamically modify the reflection properties of the MS. This concept of reconfigurable MS also opens a new dimension: the possibility of modifying the spectral content of the backscattered field. Indeed, the switches can be controlled with temporally varying signals based on binary modulation by pseudo-random sequences. In the aim of reducing SER, this spatiotemporal modulation offers promising possibilities by dispersing the backscattered signal both angularly and in frequency. The PhD will focus on the exploration of this spatiotemporal modulation technique and will follow the steps:

- State of the art on spatiotemporal modulation of MS.
- Simulation study of the approach for RCS reduction.

- Design, fabrication and measurement of a prototype (sizing, design of a reconfigurable cell, digital signals routing, digital electronics conception, measurement campaign definition, measurements, results analysis).
- Simulation study of the combination of the spatiotemporal modulation technique and the use of absorbing materials within the MS for RCS reduction.

#### Dates, locations and PhD supervision

- Starting date: October 2024.
- Duration: 36 months.
- Full 3 years scholarship provided (gross salary of at least 2100 Euros / month).
- Locations: IETR Rennes (2 years) and Lab-STICC Brest (1 year), the duration of the two periods will be adjusted according to the work progress and the wishes of the candidate.
- PhD directors: Renaud LOISON (IETR) and Vincent LAUR (Lab-STICC).
- Co-supervision: PhD directors + Raphaël GILLARD (IETR).

#### Profile and application

- Profile: student in last year of master's degree or final year of engineering training in electronics and/or telecommunications.
- Apply by email to:
  - [Renaud.Loison@insa-rennes.fr](mailto:Renaud.Loison@insa-rennes.fr)
  - [Vincent.Laur@univ-brest.fr](mailto:Vincent.Laur@univ-brest.fr)
  - [Raphael.Gillard@insa-rennes.fr](mailto:Raphael.Gillard@insa-rennes.fr)
- Send: resume + motivation letter + transcripts (bachelor, first year of master's degree) + reference letter(s) if possible (pdf format for all documents).

#### Bibliography

- [1] Elineau, M., *“Techniques de contrôle de la SER à l’aide de métasurfaces – Application à des surfaces à réflexion anormale ou à transition de propriétés en réflexion”*, thèse IETR INSA Rennes.
- [2] Zhang, L., Chen, X.Q., Liu, S. et al., *“Space-time-coding digital metasurfaces”*, Nat Commun 9, 4334 (2018), <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06802-0>.