



HAL
open science

Exploitation de l'analyse de Floquet pour la réflexion anormale. Validation expérimentale d'une méthode d'optimisation de SER.

Matthieu Elineau, Renaud Loison, Stéphane Méric, Raphaël Gillard, Pascal Pagani, Geneviève Mazé-Merceur, Philippe Pouliguen

► To cite this version:

Matthieu Elineau, Renaud Loison, Stéphane Méric, Raphaël Gillard, Pascal Pagani, et al.. Exploitation de l'analyse de Floquet pour la réflexion anormale. Validation expérimentale d'une méthode d'optimisation de SER.. 17e Journées de Caractérisation Microondes et Matériaux, Apr 2023, Tours, France. hal-04166654

HAL Id: hal-04166654

<https://hal.science/hal-04166654>

Submitted on 20 Jul 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Matthieu Elineau^{1,2}, Renaud Loison¹, Stéphane Méric¹, Raphaël Gillard¹, Pascal Pagani², Geneviève Mazé-Merceur², Philippe Pouliguen³
¹IETR, INSA Rennes; ²CEA CESTA, Le Barp; ³DGA, AID, Paris

Résumé : Une validation expérimentale d'une méthode d'optimisation d'une métasurface périodique est proposée. La méthode exploite l'analyse de Floquet et consiste à simuler, en environnement infini périodique, l'élément invariant de la structure pour calculer les paramètres de répartition de l'énergie afin de les utiliser pour prédire le comportement en surface équivalente radar (SER) de la structure complète. On propose une réduction de la SER dans une direction de rayonnement d'un mode de Floquet. Une surface initiale permettant d'effectuer une réflexion anormale est proposée puis optimisée avec la méthode.

Contexte : réduction de SER

Méthodes courantes

- Travail sur la forme des objets
- Recours à des matériaux absorbants

Alternative

- Application de métasurfaces sur les objets
- Exploitation de la réflexion anormale [1] ($0^\circ \rightarrow 60^\circ$)

Objectif double : modéliser et optimiser

Modéliser les harmoniques de Floquet

- Synthèse de loi de phase avec des cellules déphaseuses (fig. 1)
- Triplets de cellules (supercellule) à l'origine d'harmoniques [2]

Optimisation de la géométrie de la métasurface

- Nécessité d'un calcul analytique de la SER de la métasurface
- Réduction du rayonnement dans une direction parasite (fig. 2)

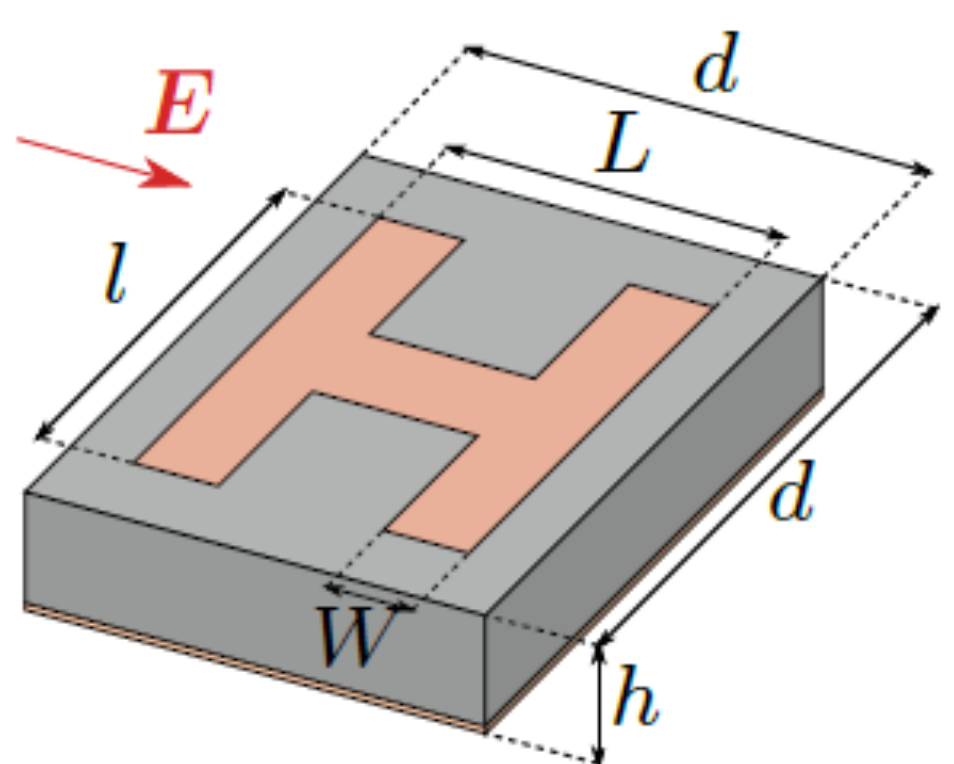


Figure 1 : cellule déphaseuse

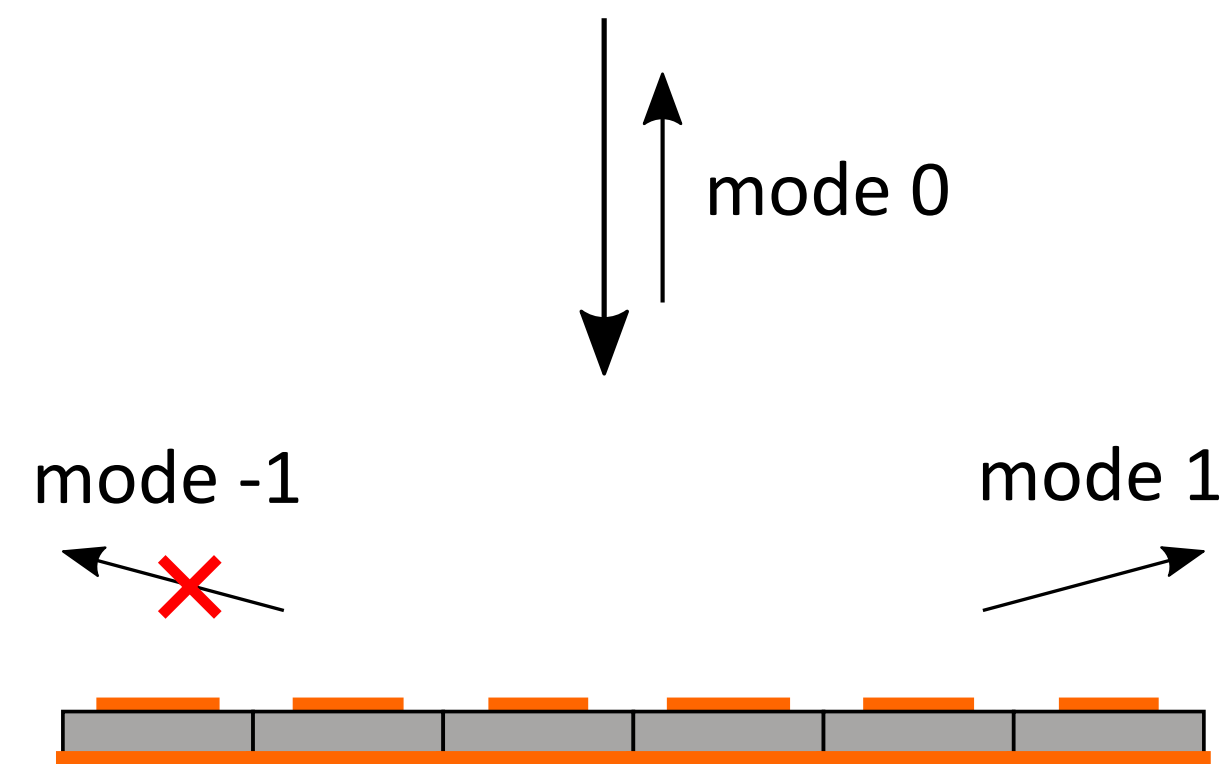


Figure 2 : schématisation de l'objectif d'optimisation

Modélisation

- Simulation de supercellule en infini périodique (fig. 3)
- Structure excitée avec chaque mode de Floquet n
- Champ calculé dans chaque mode excité m

- Sortie de simulation : $S_{m,n} = \frac{E_m}{E_n}$

→ Définition des courants sources

$$\vec{E}_{s,m} = E_0 \vec{u}_y S_{m,0} e^{-jk \sin(\theta_m) y}$$

→ Calcul du champ rayonné à partir des $\vec{E}_{s,m}$ [3] puis de la SER

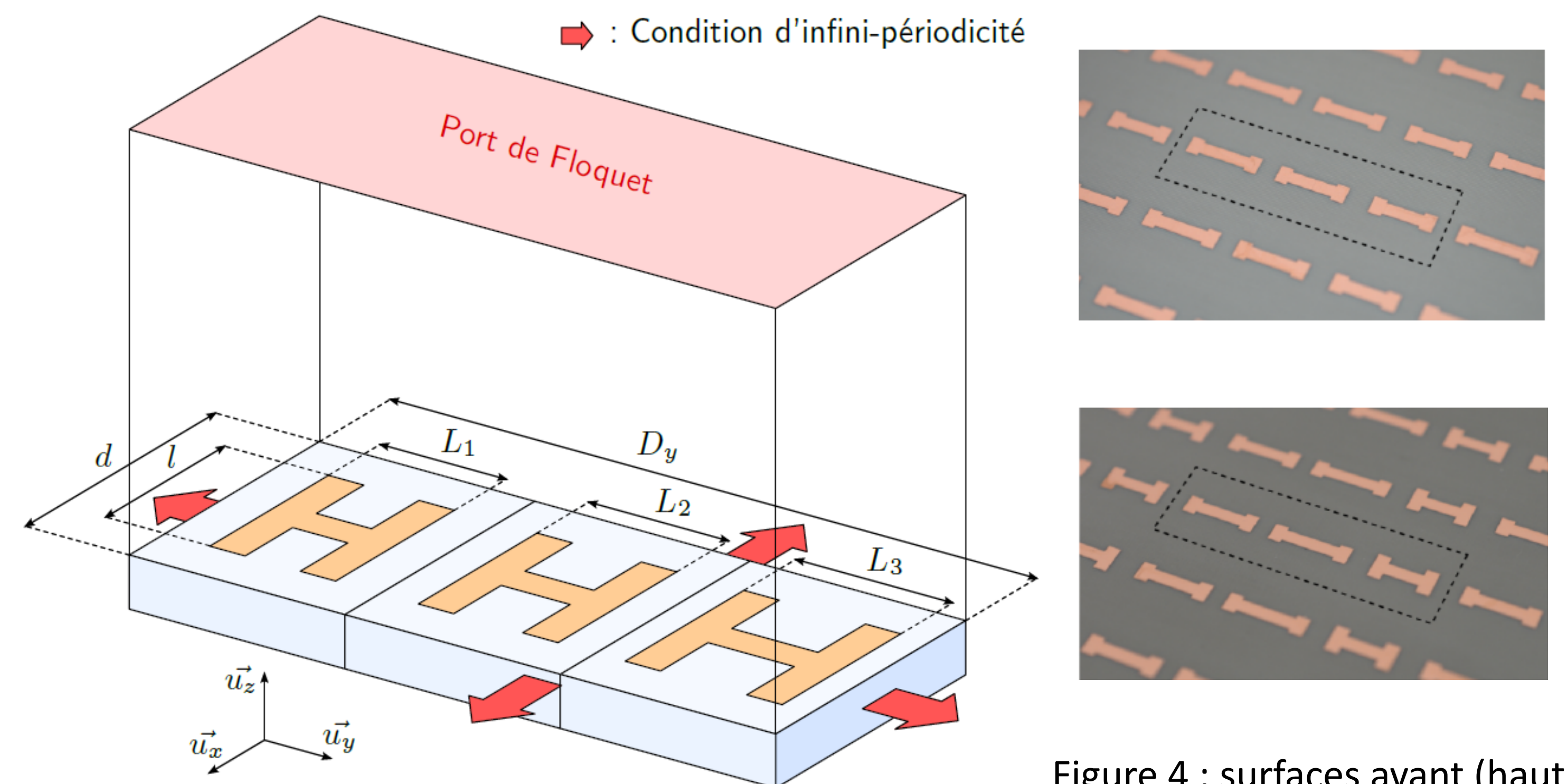


Figure 3 : supercellule en simulation infini-périodique

Figure 4 : surfaces avant (haut) et après (bas) optimisation

Optimisation

- Utilisation de la géométrie des patches comme degrés de liberté
- Minimiser le rayonnement dans le mode $m = -1$ (-60° , non voulu)
- Fonction de coût à minimiser (méthode type gradient HFSS) :

$$f_c(l_q, L_q) = -(|S_{1,0}| - |S_{-1,0}|)$$

→ Vérification de l'optimisation en simulation (fig. 6 -- et -)

Fabrication et dispositif mesure

- Surfaces de $10\lambda \times 10\lambda$ ($f = 8$ GHz) PCB NY9217, $\epsilon = 2,17$ (fig. 4)
- Mesure de 2 à 18 GHz (filtrage spatial) avec l'arche 3D (fig. 5)

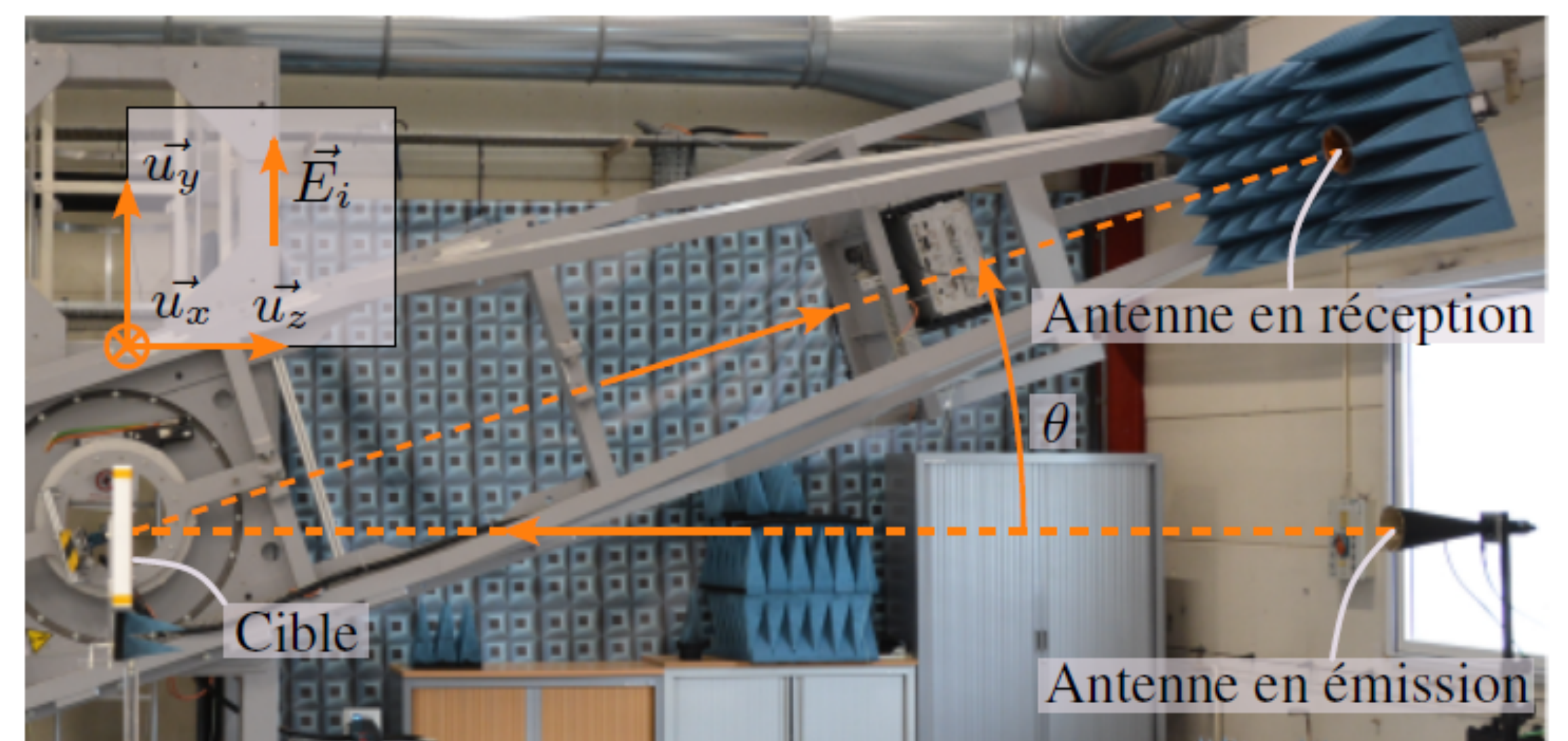
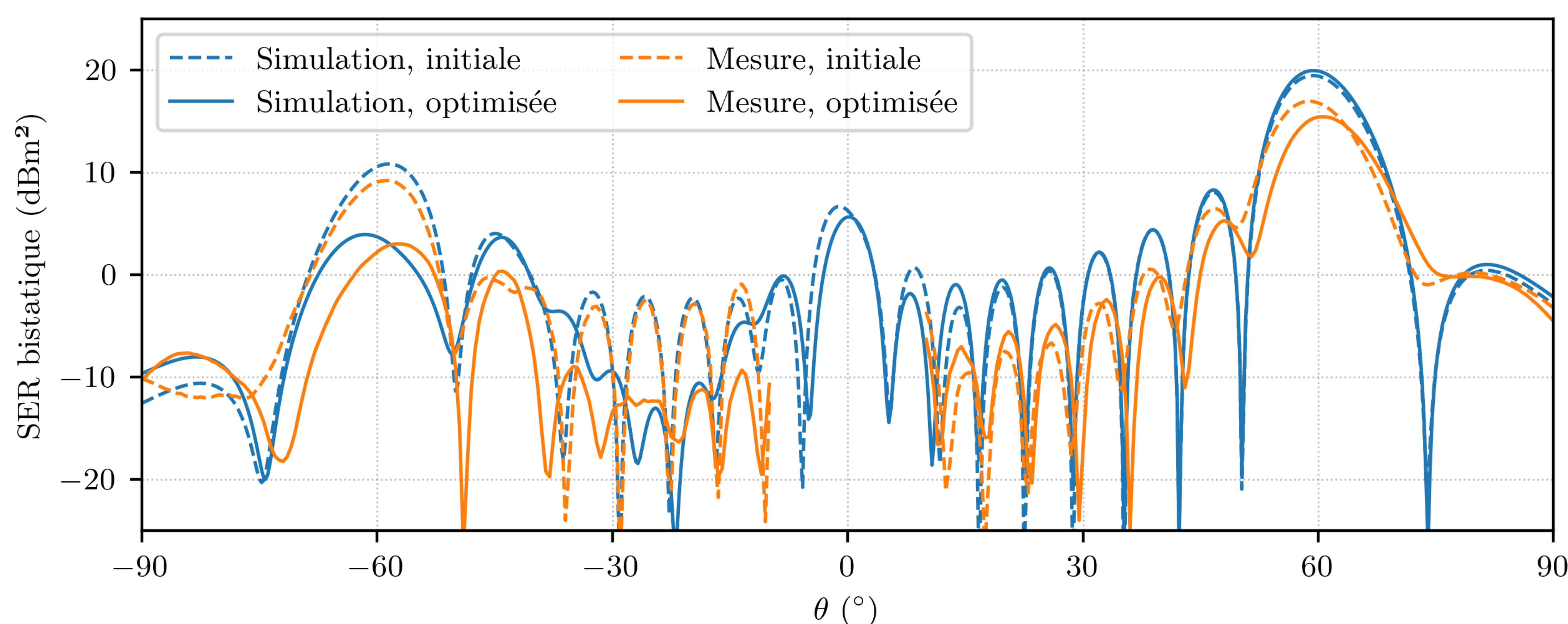


Figure 5 : dispositif de mesure, l'arche 3D du CEA CESTA en configuration bistatique



Résultats

- 6,8 dB de réduction en simulation rigoureuse (HFSS)
- 6,9 dB de réduction mesurés : l'approche est quantitative
- SER globalement sur estimée en simulation
- Technologie validée en mesure

Figure 6 : SER bistatique des surfaces initiales et optimisées, en simulation rigoureuse ou mesurée

Conclusions

- Synthèse de surface à réflexion anormale → directions parasites excitées
- Exploitation de l'analyse de Floquet → optimisation sur les $S_{m,n}$
- Validé en simulation rigoureuse et en mesure

Diminution importante de SER, grâce à une réduction drastique de la taille du problème (optimisation simulation complète → environnement infini périodique)

References

- [1] N. Yu, P. Genevet et al., "Light Propagation with Phase Discontinuities : Generalized Laws of Reflection and Refraction," Science, t. 334, 2011
- [2] A. K. Bhattacharyya, Phased Array Antennas. 2006
- [3] C. Balanis, Antenna theory. 2016