



**HAL**  
open science

**Contrôle de la réflexion à l'aide de métasurfaces.  
Méthodes de réduction du niveau des réflexion parasites.**

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.. Contrôle de la réflexion à l'aide de métasurfaces. Méthodes de réduction du niveau des réflexion parasites.. 8e Journées d'études Electromagnétisme et Guerre Electronique, Dec 2021, Toulouse, France. hal-04166649

**HAL Id: hal-04166649**

**<https://hal.science/hal-04166649>**

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.

M. Elineau<sup>1</sup>, R. Loison<sup>1</sup>, S. Méric<sup>1</sup>, R. Gillard<sup>1</sup>, P. Pagani<sup>2</sup>, G. Mazé-Merceur<sup>2</sup>, P. Pouliguen<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>IETR INSA Rennes, <sup>2</sup>CEA CESTA, <sup>3</sup>DGA

**Résumé :** La réflexion anormale avec des métasurfaces est souvent effectuée à l'aide de motifs à géométrie variable, résonants, permettant de reproduire en le discrétisant, un gradient de phase. Ce processus de discrétisation révèle des super-périodicités spatiales, susceptibles d'exciter des réflexions parasites. Pour réduire leur niveau, on propose ici une méthode de simulation avec HFSS portant sur l'optimisation du motif présentant la super-périodicité, avant son intégration sur la métasurface.

### Contexte

- Contrôle de la réflexion électromagnétique à l'aide de métasurfaces [1].
- Étude d'une des fonctionnalités des métasurfaces : la réflexion anormale, pour une surface plane, avec un gradient de phase linéaire [2].

### Problématique

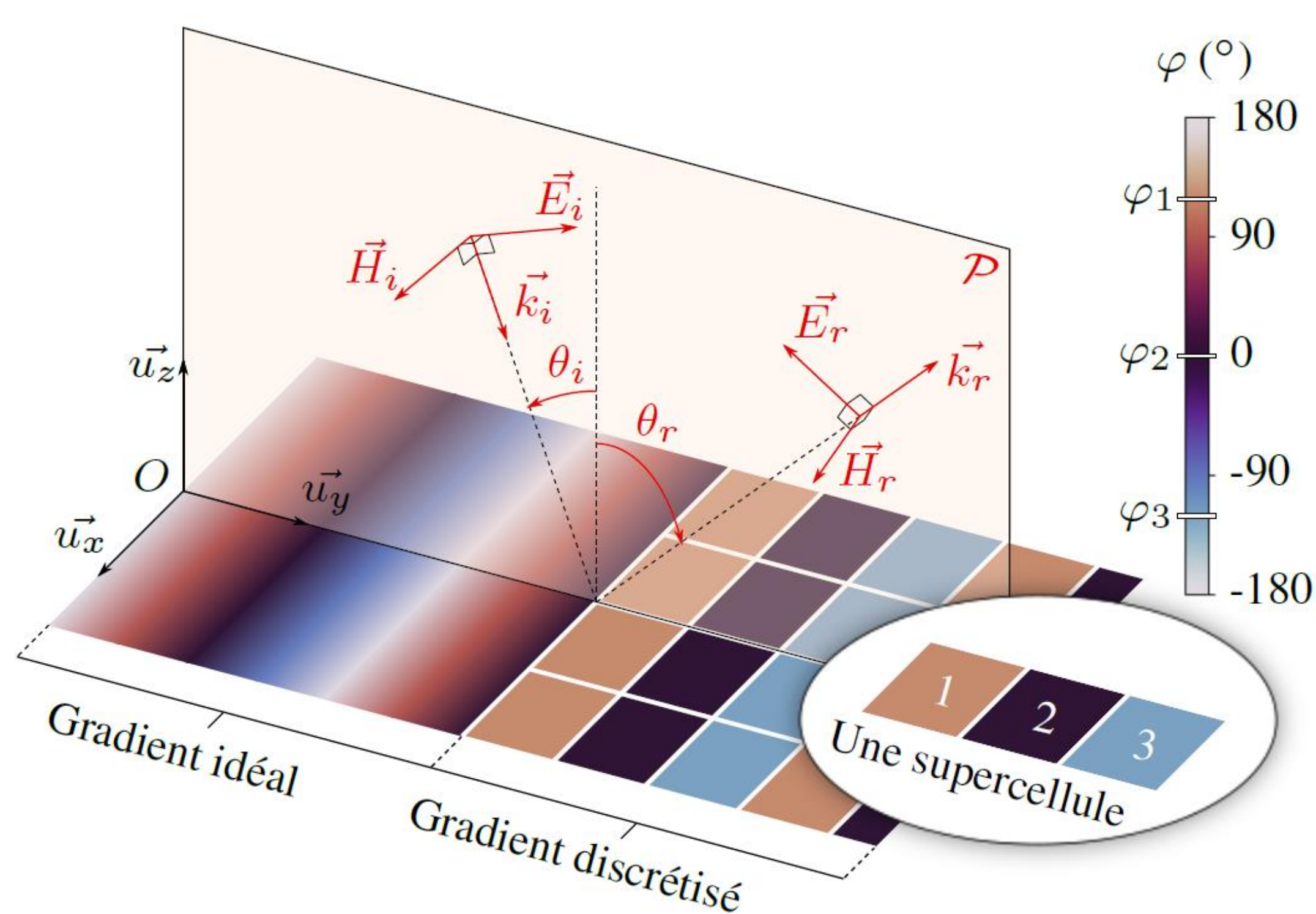
La discrétisation du gradient à l'aide de cellules élémentaires entraîne :

- Des super-périodicités : répétition d'une séquence de cellules appelée supercellule (fig. 1). Excitation de modes de Floquet [3] non désirés.
- Des effets de couplage entre cellules : gradient de phase dégradé.

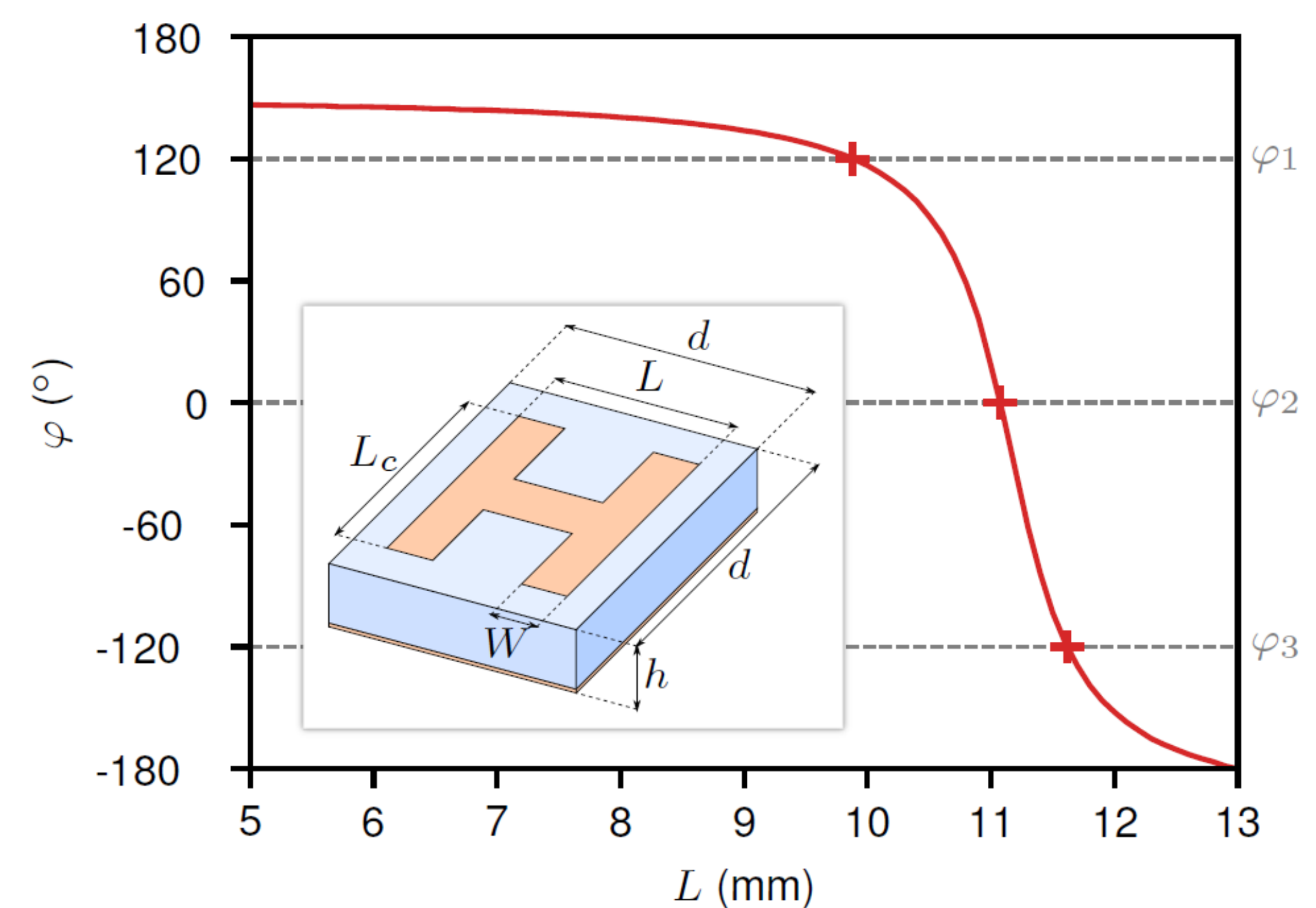
### Objectifs

Atténuer les réflexions parasites sans avoir à optimiser la surface entière :

- Caractérisation d'une supercellule par sa matrice de répartition [S] exprimant le couplage entre modes.
- Optimisation de la géométrie de la supercellule en minimisant les coefficients  $S_{m,n}$  associés aux modes parasites.



**Figure 1 :** Réflexion anormale d'une onde plane TM dans un plan, avec une loi de phase idéale ou discrétisée par le choix de trois valeurs  $\varphi_i$ . Répétition de la supercellule mise en évidence.



**Figure 2 :** Variation de la réponse en phase d'une cellule en fonction de  $L$ , en environnement infini-périodique :  $h = 1,6\text{mm}$ ,  $d = 14,43\text{mm}$  ( $\sim 0,38\lambda$ ),  $L_c = 3\text{mm}$  et  $W = 2\text{mm}$ .

### Synthèse d'un réseau semi infini

**Configuration** (fig. 1)

- Réseau fini suivant  $\vec{u}_y$ , infini suivant  $\vec{u}_x$ ,  $\theta_i = 0^\circ$  et  $\theta_r = 60^\circ$  souhaité.
- $\vec{E}$  dans le plan de réflexion (configuration TM) et  $f = 8\text{GHz}$ .

**Échantillonnage du gradient** (fig. 2)

- Cellule élémentaire de dimension  $< \lambda/2$  : évite les lobes de réseau.
- Choix des géométries de cellules produisant les  $\varphi_i$  adéquat (tab. 1a).

**Volume de calcul**

- Conducteur magnétique (PMC) pour l'infini-périodicité suivant  $\vec{u}_x$ .
- Conditions absorbantes sur les autres plans (PML).

**Apparition des réflexions parasites** (fig. 3b)

- Supercellule de taille  $D_y \sim 1,15\lambda$  : les modes  $-1, 0$  et  $1$  sont propagatifs.
- Excitation à  $0^\circ$  (mode 0) et rayonnement souhaité à  $60^\circ$  (mode 1).
- Rayonnements parasites à  $0^\circ$  (mode 0) et  $-60^\circ$  (mode -1).

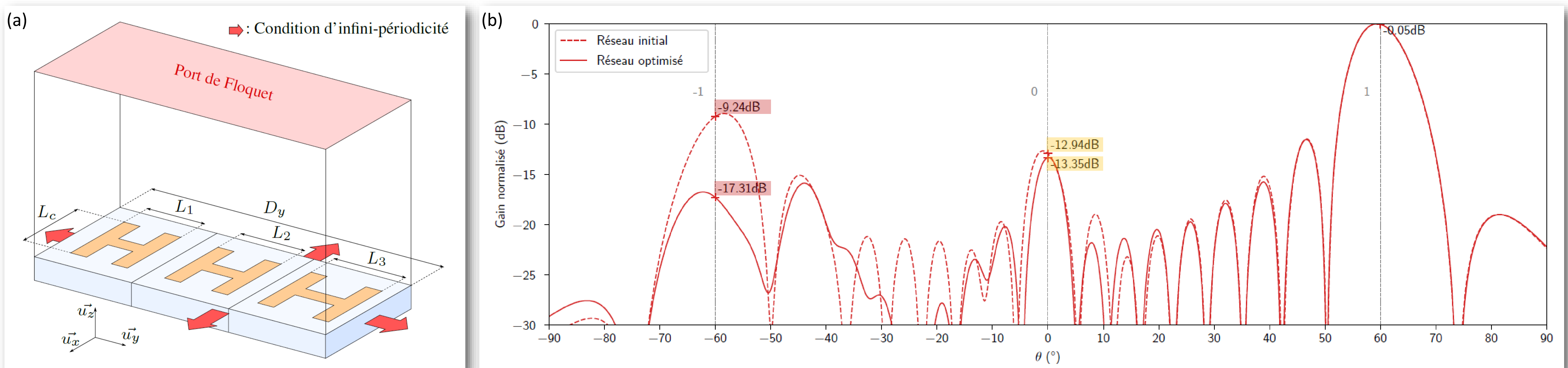
### Réduction du niveau des réflexions parasites

**Méthode :** pour un réseau de 9 supercellules : simulation type Floquet d'une seule supercellule (fig. 3a) et calcul de sa matrice de répartition (tab. 1b). Chacun de ses  $S_{m,n}$  est un coefficient de réflexion du mode  $n$  vers un mode  $m$ .

**Objectif :** minimiser les  $S_{0,0}$  et  $S_{-1,0}$ , avec une méthode de type gradient, en variant les géométries des cellules. La nouvelle supercellule (tab. 1c, d) est utilisée pour construire un nouveau réseau, à comparer avec le réseau initial (fig. 3b).

**Tableau 1 :** (a) Géométrie de la supercellule initiale et (b) sa matrice de couplage. (c) Géométrie de la supercellule optimisée et (d) sa matrice de couplage.

(a)	$i$	$L_{c_i}$ (mm)	$L_i$ (mm)	$\varphi_i$ ( $^\circ$ )	(b)	$m$	$S_{m,0}$ (dB)
	1	3	9.881	120		-1	-8.61
	2	3	11.075	0		0	-12.45
	3	3	11.619	-120		1	0
(c)	$i$	$L_{c_i}$ (mm)	$L_i$ (mm)	$\varphi_i$ ( $^\circ$ )	(d)	$m$	$S_{m,0}$ (dB)
	1	4.418	9.372	66.7		-1	-15.82
	2	3.224	11.119	-75.8		0	-14.92
	3	3.132	12.189	-166		1	0



**Figure 3 :** (a) Supercellule en simulation de type Floquet. (b) Diagrammes de rayonnement avant et après optimisation.

### Conclusion

- Exploitation de la matrice de répartition pour réduire le niveau des réflexions parasites.
- Ajustements de géométrie : nouveau triplet de cellules recouvrant le gradient de phase.
- Réduction du  $S_{-1,0}$  et du lobe associé de l'ordre de  $-10\text{dB}$ , pour plusieurs types de réseaux.
- **Perspectives :** correction du  $S_{0,0}$  et diagramme élémentaire, nouvelles topologies.

### Références

- [1] S. Tretyakov, Metasurfaces for general transformations (...), Philosophical transactions of the royal society, 2015.
- [2] N. Yu *et al.*, Light propagation with phase discontinuities (...), Science, 2011.
- [3] A. Bhattacharyya, Phased array antennas, 2006.