

MÉTASURFACE MODULÉE TEMPORELLEMENT POUR APPLICATION À DES ABSORBANTS RADARS

Tanguy LOPEZ^{1,2,@}, Thomas LEPETIT¹, Badreddine RATNI² & Shah Nawaz BUROKUR²



1 : ONERA, DEMR, Université de Paris-Saclay, F91123 Palaiseau, France,

2 : LEME, UPL, Univ Paris Nanterre, F92410 Ville d'Avray, France

tanguy.lopez@onera.fr / tlopez@parisnanterre.fr



Financement : 50% Université Paris Nanterre, 50 % ONERA

1. CONTEXTE

Les **métasurfaces** sont une solution particulièrement intéressante pour la **furtivité radar** [1]. L'intégration de **composants électroniques actifs** permet de multiplier leurs fonctionnalités, comme la **reconfigurabilité** [2]. La **modulation temporelle** de ces éléments électroniques offre de nouvelles stratégies de **camouflage radar**, dont la **cape Doppler** [3], [4]: par compensation du décalage Doppler induit par le déplacement de la cible, celle-ci est vue comme un élément statique de la scène, *i.e.* dans le **fouillis radar**.

2. OBJECTIF

En vue de son intégration dans une **cape Doppler**, l'objectif de ce travail est la conception et validation d'une **métasurface modulée temporellement** pour la **conversion en fréquence** du signal incident.

3. CONDITION DE MODULATION

Pour garantir l'**existence de l'écriture** :

$$E_r(t) = \Gamma(t)E_i(t)$$

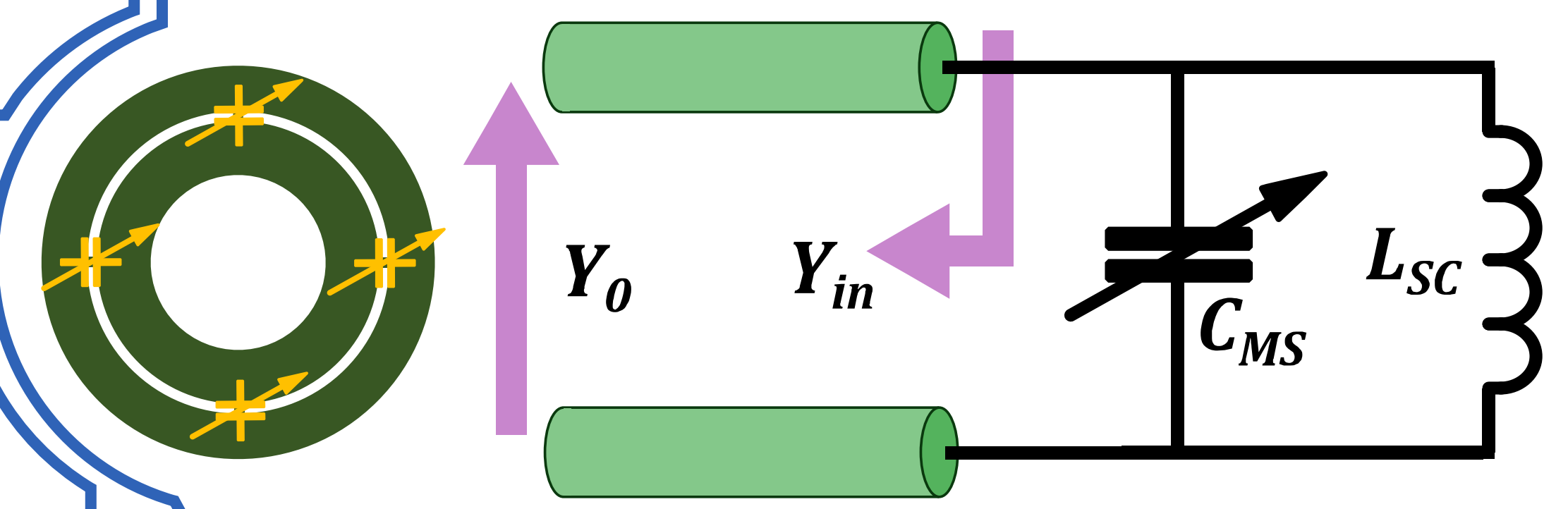
la **période de la modulation temporelle** T_m doit être très large devant le temps de relaxation [5].

Par transformée de Fourier, les **spectres** s'écrivent :

$$\tilde{E}_r(\omega) = \tilde{\Gamma}(\omega) * \tilde{E}_i(\omega)$$

4. MÉTASURFACE

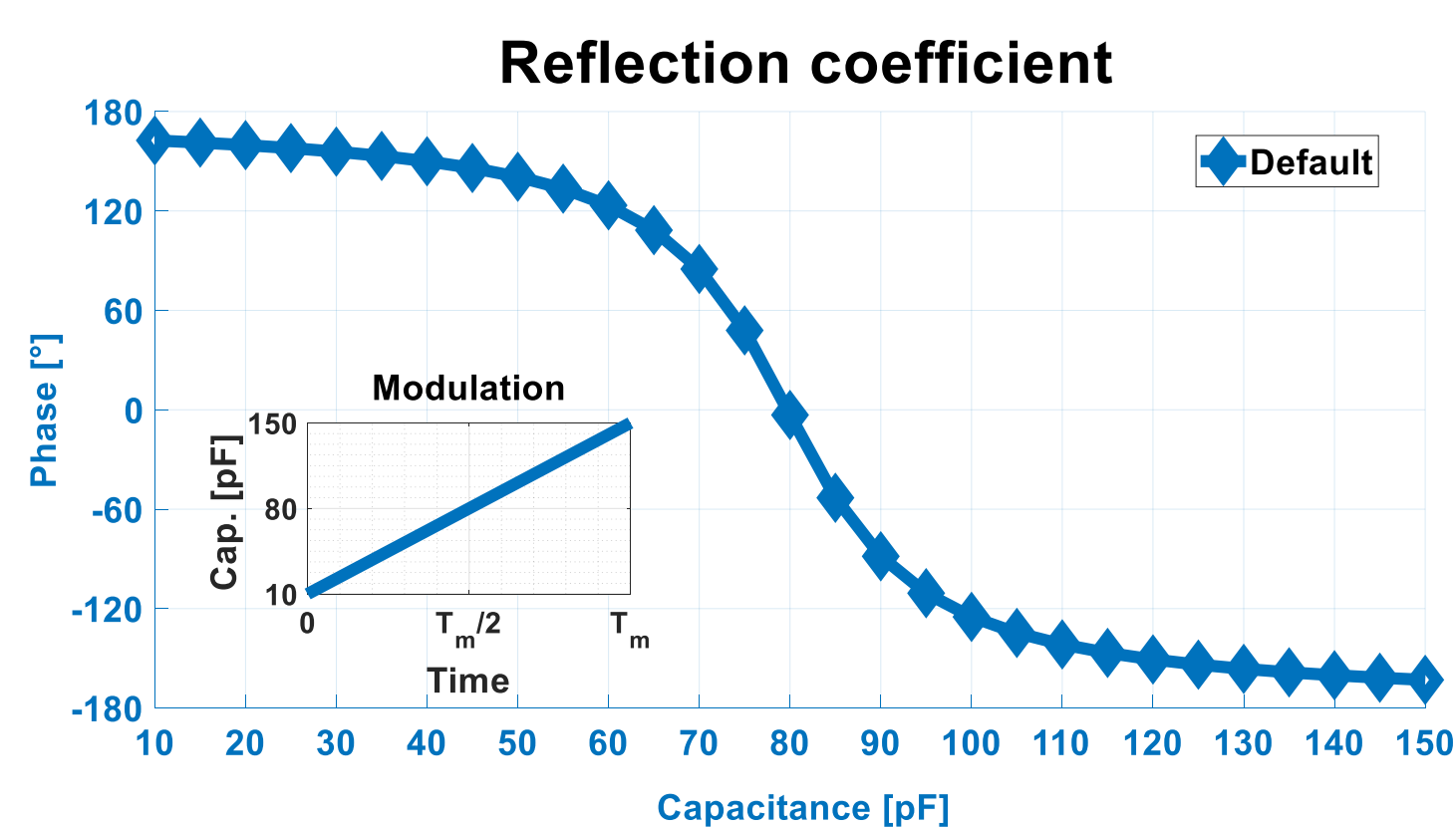
La métasurface est **purement capacitive** et forme un **circuit LC parallèle** avec le conducteur à dissimuler. Le coefficient de réflexion de ce circuit est pilotée par la **capacité variable** montée sur la métasurface.



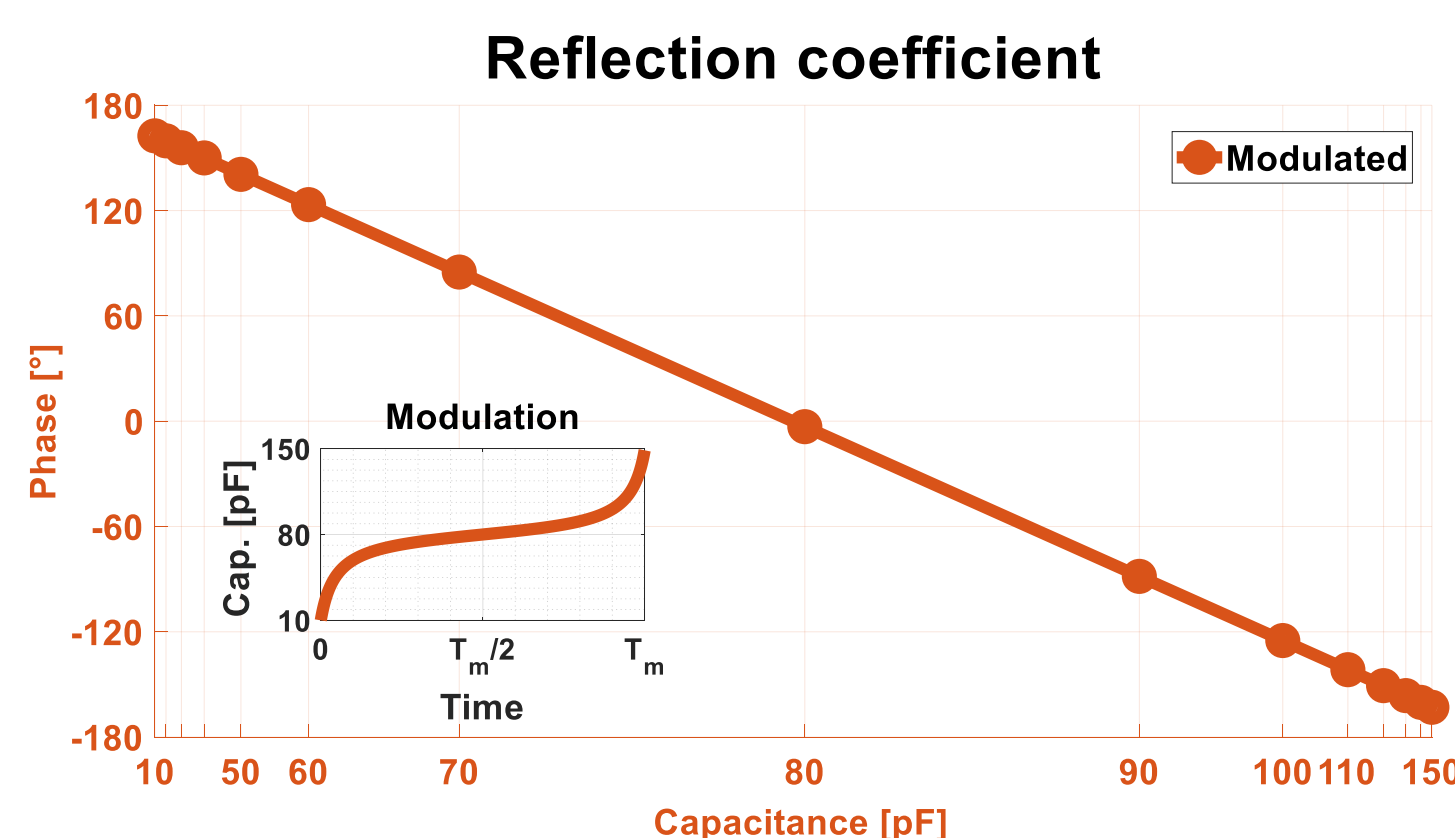
5. SIMPLIFICATION

La **diode varactor** utilisée en pratique [4], amène une certaine **perte de puissance** à la conversion, mais ne compromet pas la conversion de fréquence. Par souci de simplification, une **capacité variable idéale** est considérée dans la suite. Merci de se référer à *Aller plus loin...* pour plus d'informations.

6. MODULATION



Sur la plage de capacités considérée, la phase du coefficient de réflexion de la métasurface explore (presque) 2π .



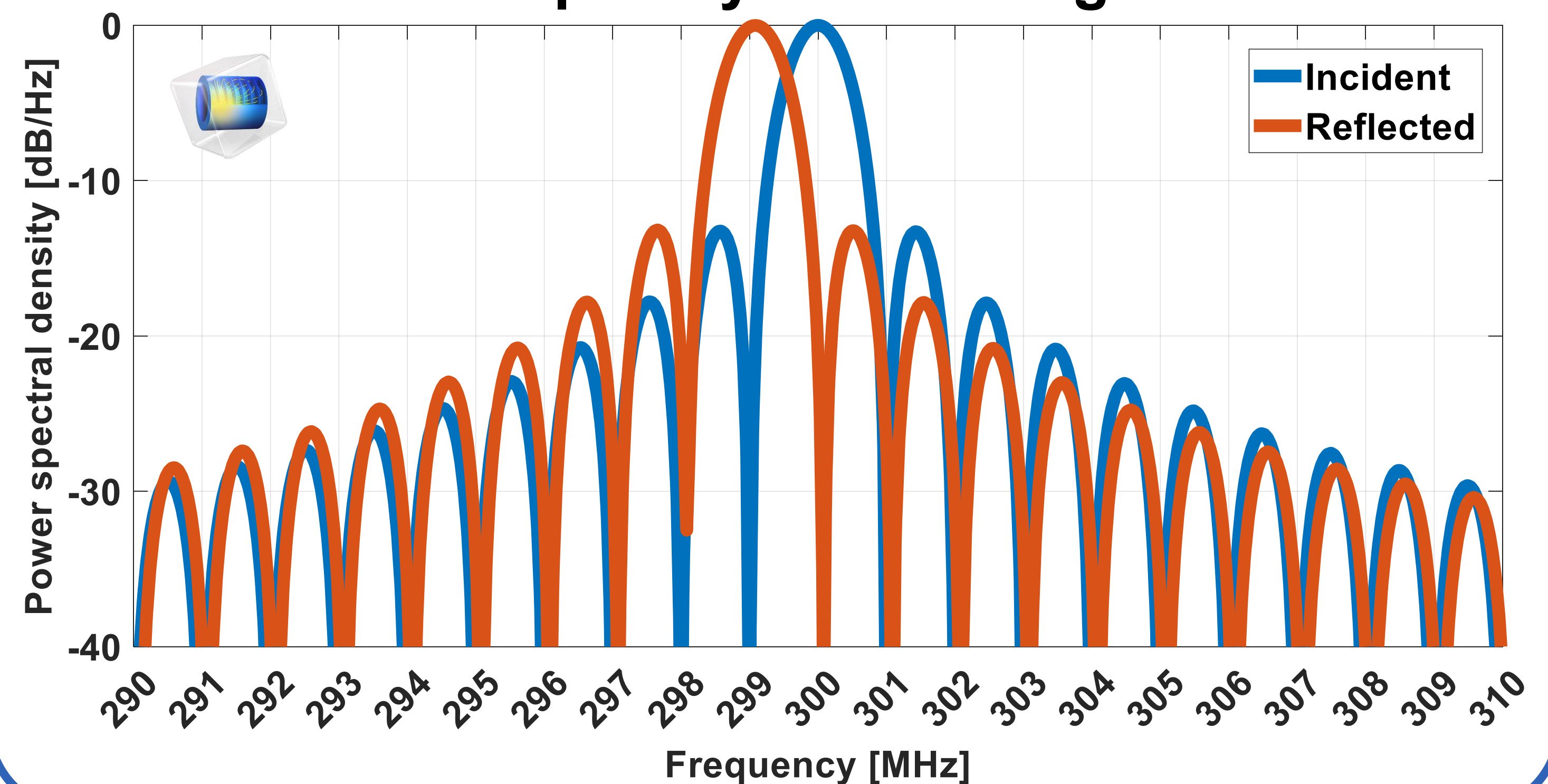
Par **modulation** spécifique de la capacité, la **phase du coefficient de réflexion peut être linéarisée**.

$$\Gamma(t) = \Gamma_0 e^{-j\omega_m t} \Rightarrow \tilde{\Gamma}(\omega) = \Gamma_0 \delta(\omega + \omega_m) \Rightarrow \tilde{E}_r(\omega) = \Gamma_0 \tilde{E}_i(\omega + \omega_m)$$

7. SIMULATION

L'onde incidente est **harmonique** de fréquence $f_0 = 300$ MHz, et la métasurface est modulée à $f_0 \gg f_m = 1$ MHz [5]. La simulation est une étude *Transient* du module RF sur COMSOL®, logiciel de simulation par éléments-finis.

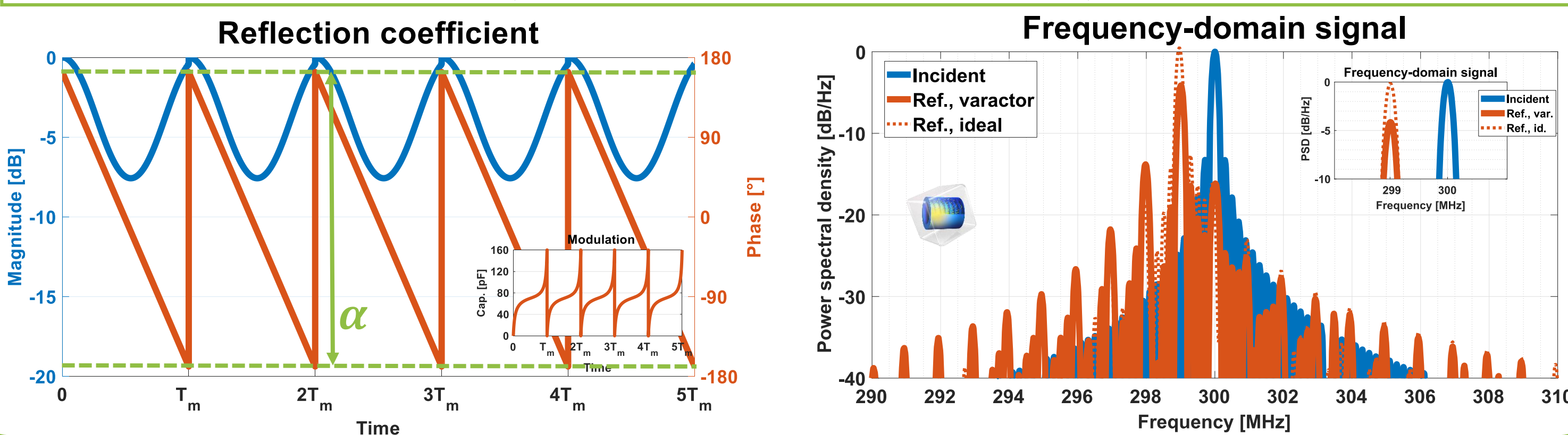
Frequency-domain signal



A. ALLER PLUS LOIN...

$$\Gamma(t) = |\Gamma_0(t)| \left(e^{-j\alpha\omega_m t} \text{rect} \left(\frac{t - T_m/2}{T_m} \right) \right) * \sum_{-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_m)$$

$$\Rightarrow \tilde{\Gamma}(\omega) = e^{-j\omega T_m/2} \left(|\tilde{\Gamma}_0(\omega)| * \text{sinc} \left(\frac{\omega + \alpha\omega_m}{2} T_m \right) \right) \sum_{-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_m)$$

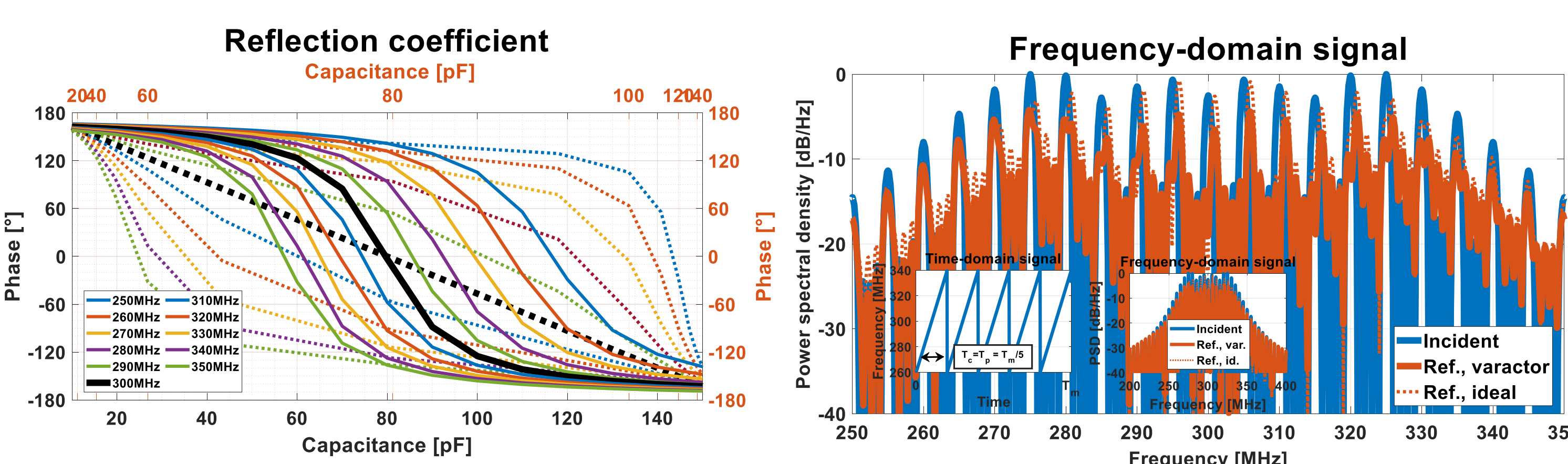


8. CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

Par modulation du coefficient de réflexion afin d'en linéariser la phase, le spectre du champ incident, centré en f_0 , est transposé en $f_0 - f_m$, validant la **bonne conversion en fréquence**. La suite de ces travaux se concentre sur la **validation expérimentale** de la conversion en fréquence.

B. SIGNAUX À BANDE NON-NULLE

La linéarisation de la phase à une fréquence entraîne également la quasi-linéarisation des phases aux fréquences voisines : une certaine **bande passante de conversion** se dégage alors pour la conversion en fréquence de **signaux à bande non-nulle**, comme par exemple un **train de chirps**.



9. RÉFÉRENCES

- [1] N. Engheta, «Thin absorbing screens using metamaterial surfaces», *IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp.*, San Antonio, USA, vol. 2, pp. 392-395, 2002.
- [2] T. Lopez, T. Lepetit, B. Ratni et S. N. Burokur, «Experimental validation of a reconfigurable coaxial metasurface radar absorber using varactor diode tuning», *2023 Metamaterials*, Chania, Greece, pp. X-211-X-213, 2023.
- [3] V. Kozlov, D. Vovchuk et P. Ginzburg, «Broadband radar invisibility with time-dependent metasurfaces», *Sci. Rep.*, vol. 11, p. 14187, 2021.
- [4] D. Ramaccia, D. L. Sounas, A. Alù, A. Toscano et F. Bilotti, «Phase-induced frequency conversion and Doppler effect with time-modulated metasurfaces», *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 68, no. 3, pp. 1607-1617, 2020.
- [5] X. Wang et C. Caloz, «Spread-spectrum selective camouflaging based on time-modulated metasurface», *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 69, no. 1, pp. 286-295, 2021.