



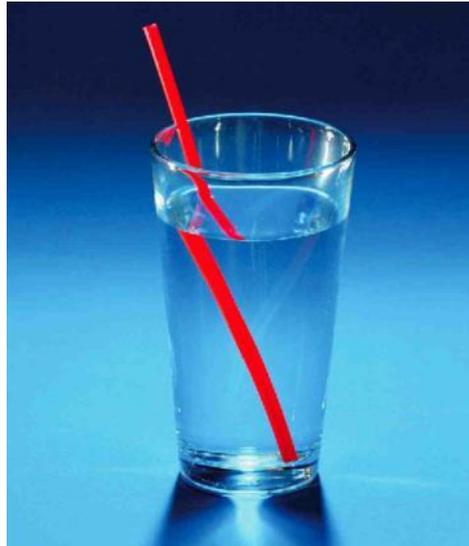
Métamatériaux & Millimétrique

Xavier Begaud

Equipe RFM², Département COMELEC, LTCI, Télécom Paris, Institut Polytechnique de Paris, Palaiseau, France



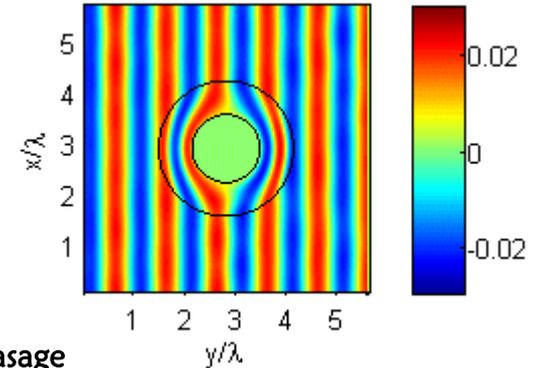
Introduction (rafraîchissement)



Métamatériaux & Millimétrie: propriétés recherchées

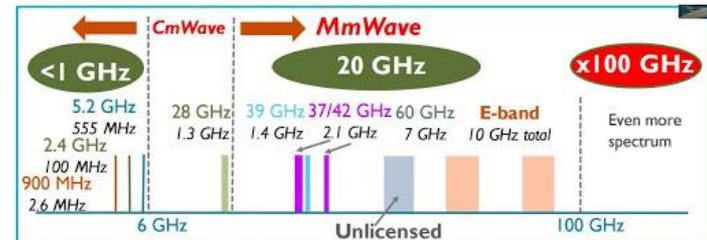
■ Métamatériaux: « au-delà » des matériaux naturels Propriétés obtenues par structuration macroscopique (\neq propriétés intrinsèques, microscopique)

- Réfraction négative : possibilité de contrôler la propagation des ondes (Transformation d'Espace, Cloaking)
- Conducteur Magnétique Artificiel: réfléchir les ondes sans déphasage
- Et aussi absorber les ondes électromagnétiques



■ Ondes millimétriques: longueur d'onde de l'ordre et inférieure au mm

- Miniaturisation des dispositifs, discrétion
- Bande passante disponible (haut débit)

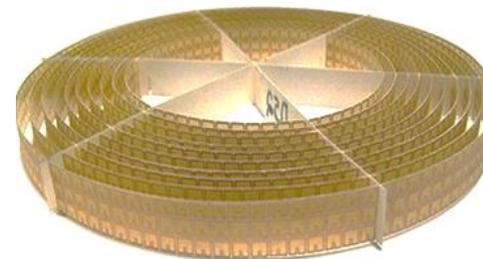


Métamatériaux & Millimétrique: écueils

■ Métamatériaux: propriétés obtenues avec des résonateurs

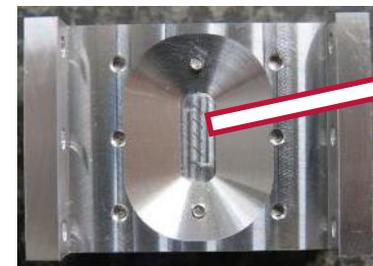
⇒ Faible bande passante !

- Nombre important de résonateurs (homogénéisation) : grandes dimensions aux basses fréquences
- Perméabilité difficile à obtenir



■ Millimétrique : c'est petit !

- Coût de la réalisation
- Coût de la validation (expérimentation)
- Sensibilité à l'environnement de propagation (atténuation)



Antenne Scanner
92GHz-96GHz
FUI-ScanVision

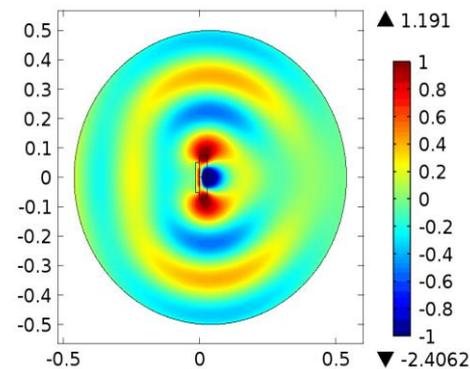
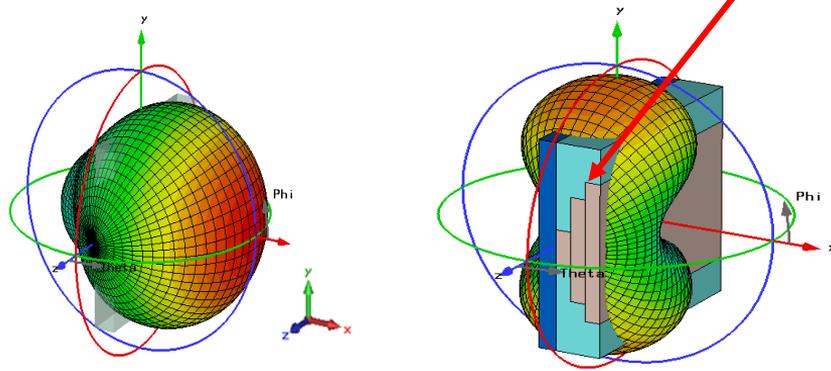


Métamatériaux & Millimétrique: expertise et résultats

■ Métamatériaux et métasurfaces : 1^{ère} approche développée à Telecom Paris

- Le contrôle du rayonnement à l'aide de superstrat **tout diélectrique**

Contexte: NanoDesign (ANR-11-IDEX-0003-02)



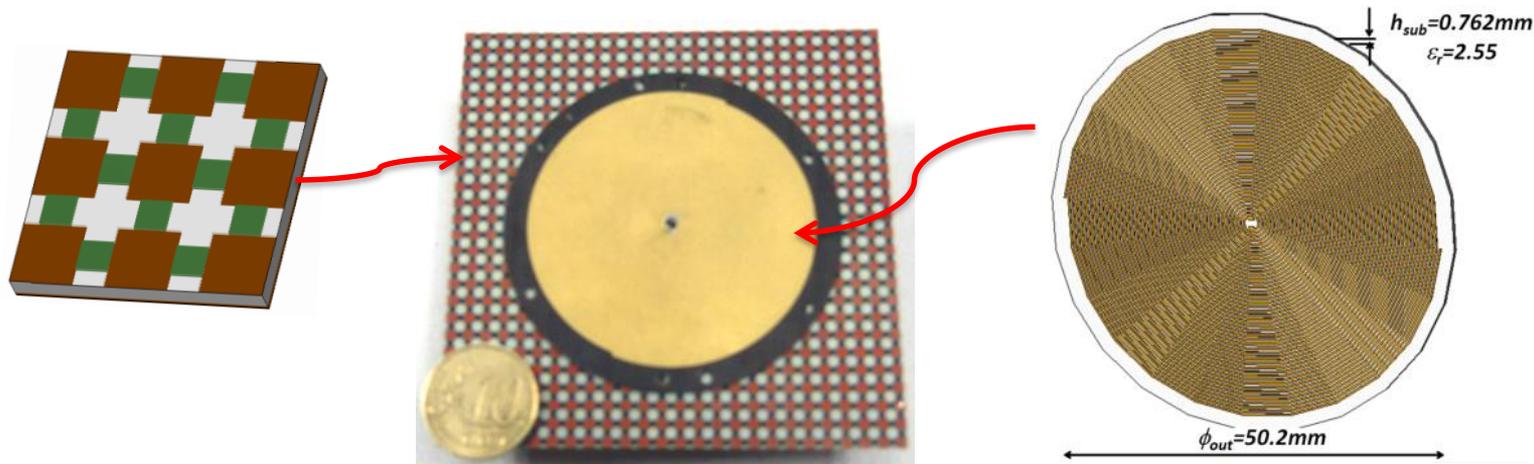
C. Joshi, A.C. Lepage and X. Begaud, "Low profile superstrate using Transformation Optics for semicircular radiation pattern of antenna", Applied Physics A.

C. Joshi, A.C. Lepage and X. Begaud, "A Dielectric-only superstrate inspired from transformation optics for complete reorientation of electromagnetic wave in azimuthal plane", EPJ Appl. Metamat. 2016, 3, 5.

Métamatériaux & Millimétrique: expertise et résultats

- Métamatériaux et métasurfaces : 2^{ème} approche développée à Telecom Paris
 - La réduction d'épaisseur ($\ll \lambda/4$) des antennes à l'aide de réflecteur à **métamatériaux large bande**

Contexte: Quatre thèses Cifre avec Thales



Antenne Spirale
d'Archimède

4 brevets : WO2012041770, EP2365584, FR2916308, WO2012131086. PhD award Thales.

Métamatériaux & Millimétrique: expertise et résultats

- **Métamatériaux et métasurfaces** : 3^{ème} approche développée à Telecom Paris
 - **L'absorption** des ondes électromagnétiques sur plateforme satellite

Contexte: contrats avec le CNES

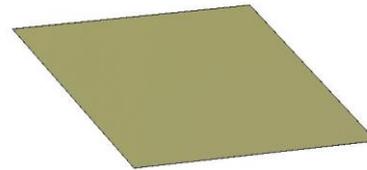
Brevet WO2015136121 , Rance, O., Lepage, A., Begaud, X. et al. Analysis and optimization of a wideband metamaterial absorber made of composite materials. Appl. Phys. A 125, 358 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00339-019-2653-2>

- **L'absorption** des ondes électromagnétiques pour la réduction de SER et la CEM

Contexte: Projet Astrid Safas + Projet Astrid Maturation Safasnav

Application au
domaine

Aéronautique puis
naval (composites)



Begaud, X.; Lepage, A.C.; Varault, S.; Soiron, M.; Barka, A. Ultra-Wideband and Wide-Angle Microwave Metamaterial Absorber. Materials 2018, 11, 2045.

Métamatériaux & Millimétrique: expertise

■ Millimétrique:

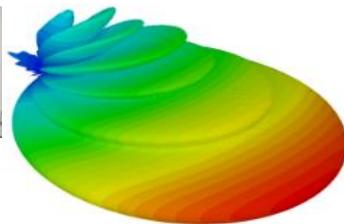
- Conception d'antennes pour le projet Tweether (H2020) de 92 à 95 GHz



THALES BOWEN

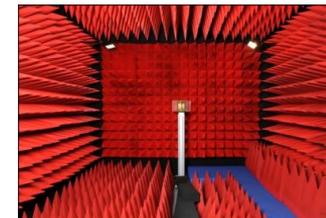


fibernova



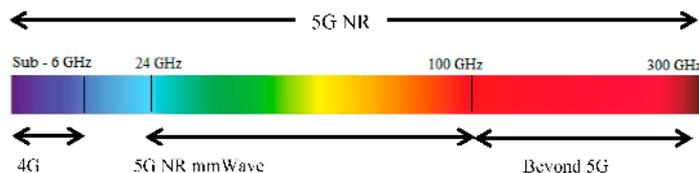
- Plateau technique:

Capacité à caractériser des antennes et des composants non-linéaires **jusqu'à 110 GHz**
*Plateforme de caractérisation non linéaire,
chambres anéchoïques ...*



Métamatériaux & Millimétrique: opportunités

- Besoins d'antennes à faisceaux directifs (5G) et montée en fréquence (beyond 5G)



En mm : les métamatériaux auront de la place pour s'exprimer !
Moindre dépendance aux tolérances avec des dispositifs large bande
Investissements réalisés sur l'instrumentation

⇒ Opportunités pour la recherche de solutions innovantes !

Remarque: Antenne multifonctions à métamatériau pour la 5G (below 6GHz) - thèse de R. Licursi en cours.

Métamatériaux & Millimétrie: quelques références

■ Liens

- <https://blogrecherche.wp.imt.fr/2015/02/23/des-metamateriaux-pour-rendre-les-antennes-plus-performantes/>
- <https://blogrecherche.wp.imt.fr/2017/12/12/ondes-millimetriques-mobile/>
- <https://www.defense.gouv.fr/aid/actualites/safasnav-la-furtivite-a-destination-des-navires-militaires>

■ Revues

- C. Joshi, A.C. Lepage and X. Begaud, “Low profile superstrate using Transformation Optics for semicircular radiation pattern of antenna”, Applied Physics A.
- C. Joshi, A.C. Lepage and X. Begaud, “A Dielectric-only superstrate inspired from transformation optics for complete reorientation of electromagnetic wave in azimuthal plane”, EPJ Appl. Metamat. 2016, 3, 5.
- Rance, O., Lepage, A., Begaud, X. et al. Analysis and optimization of a wideband metamaterial absorber made of composite materials. Appl. Phys. A 125, 358 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00339-019-2653-2>.
- Begaud, X.; Lepage, A.C.; Varault, S.; Soiron, M.; Barka, A. Ultra-Wideband and Wide-Angle Microwave Metamaterial Absorber. Materials 2018, 11, 2045.

■ Brevets

- WO2012041770, EP2365584, FR2916308, WO2012131086, WO2015136121.

Remerciements aux contributeurs

■ RFM²

Anne Claire Lepage, Antoine Khy, Jean Christophe Cousin

■ Doctorant et Docteurs

Ludovic Schreider, Michael Grelier, Fabrice Linot, Christopher Djoma, Mark Clemente, Chetan Joshi, Rafael Licursi

■ Post-Docs

Julien Sarrazin, Yenny Pinto, Stefan Varault, Tomas Bernabeu, Olivier Rance, José Enriquez

Et aux nombreux partenaires industriels et institutionnels sans lesquels ces travaux n'existeraient pas ;-)