

INSTITUT D'ÉLECTRONIQUE ET
DE TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE RENNES



Conception d'antennes transparentes actives en matériau maillé

Alexis MARTIN

alexis.martin@univ-rennes1.fr

04/2016

Directeur de thèse : Mohammed HIMDI

Co-directeur de thèse : Xavier CASTEL

Encadrant : Olivier LAFOND

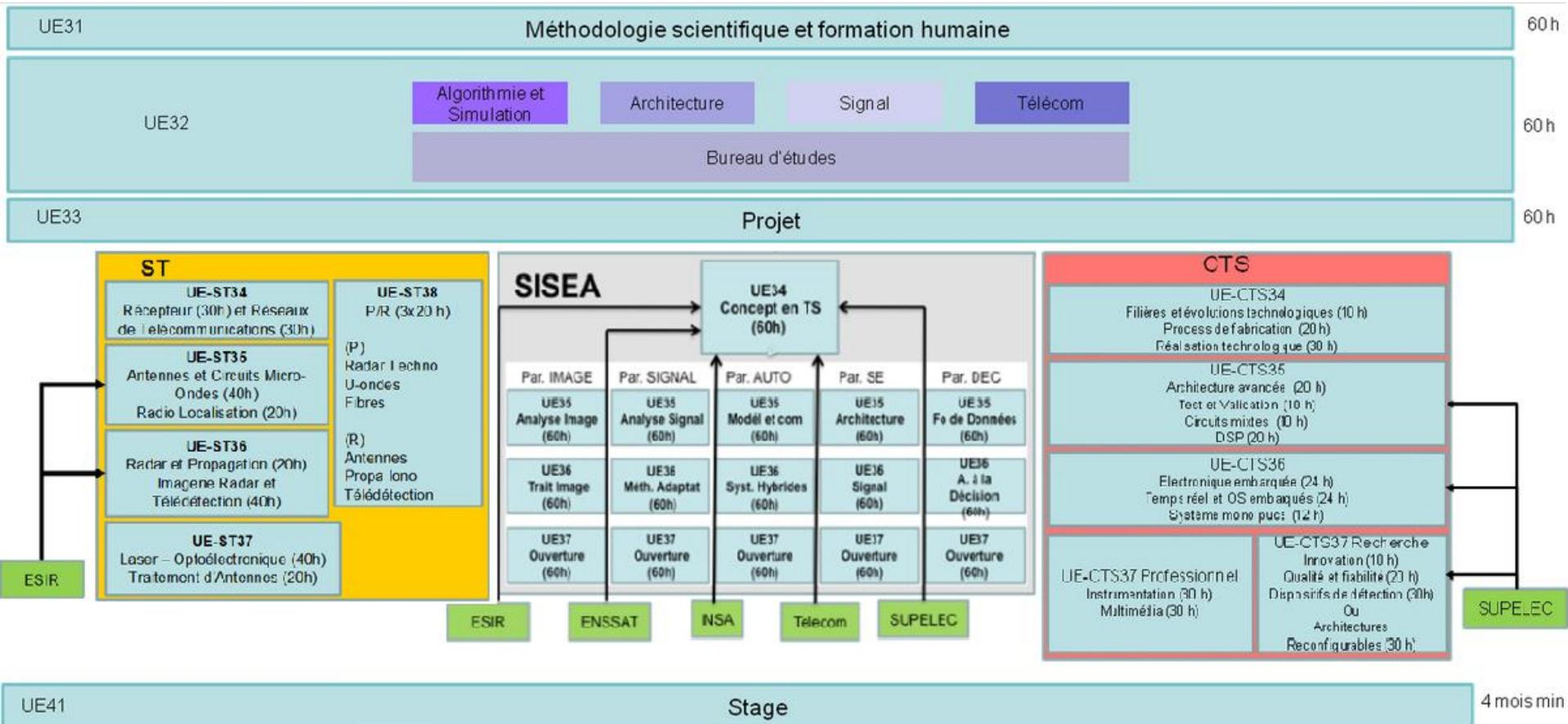
M2 Electronique et Télécommunications, Rennes 1

- Programme
- Expériences d'enseignement

Thèse

- Antennes transparentes actives
- Mission d'enseignement en IUT SGM

M2 Electronique et Télécommunications, Université de Rennes 1



ST : Système de télécommunications

SISEA : Signal, Image, Système embarqué, Automatique

CTS : Conception et Technologies des Systèmes

Spécialité Système de Télécommunications

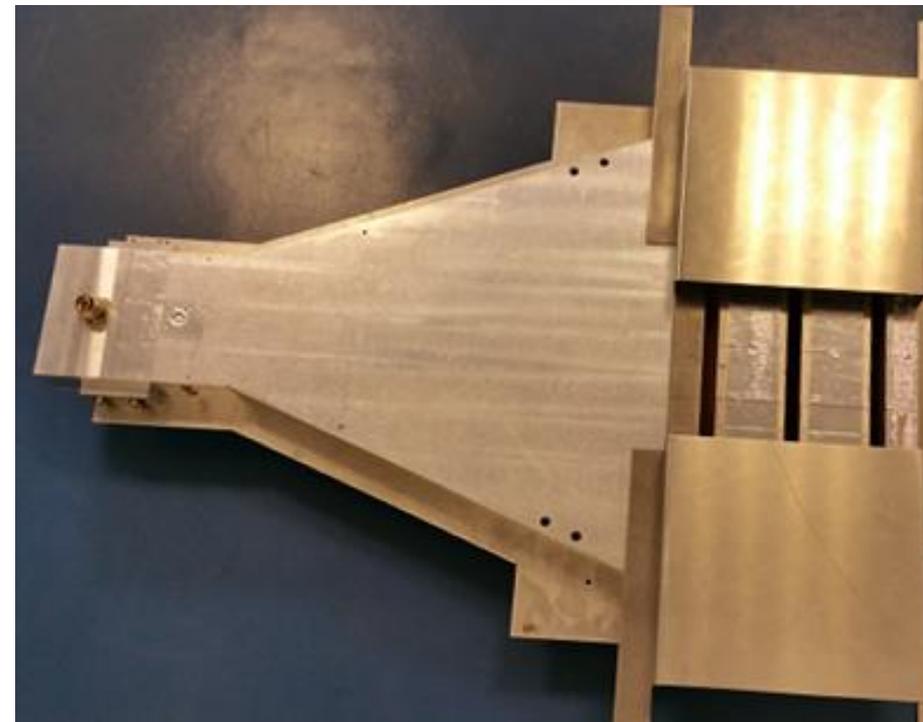
| | | |
|---------------------------|---|------------|
| Enseignement scientifique | Antennes | 40 H |
| | Propagation localisation | 40 H |
| | Téledétection | 40 H |
| | Laser – Optoélectronique | 50 H |
| | Réseaux | 30 H |
| | Communication numérique Récepteur codeur | 30 H |
| | Traitement d'antennes Traitement du signal | 40 H |
| Projet | Réalisés en binôme, les projets font l'objet de la rédaction d'un rapport, de la réalisation d'un poster et d'une présentation devant jury. | 50 H |
| Formation humaine | Connaissance du secteur d'activité | 80 H |
| | Communication | |
| | Langues | |
| | Cycle de conférences | |
| Stage | | 4 à 6 mois |

| | | |
|---------------------------|---------------------------|-----|
| Enseignement scientifique | Antennes | 20H |
| | Propagation ionosphérique | 20H |
| | Téledétection | 20H |

| | | |
|---------------------------|--------------------|------|
| Enseignement scientifique | Technologies radar | 20 H |
| | CAOH | 20 H |
| | Propagation fibres | 20 H |



Stade de Toulouse



2^{ème} année SUPELEC : TDs Electronique de Puissance

- Redresseur
- Hacheur
- Machine asynchrone
- Machine synchrone

L3 Electronique et Télécommunications : Grafcet

3x2h de cours

2x2h de TP (x3 groupes)

Thèse : Antennes transparentes actives

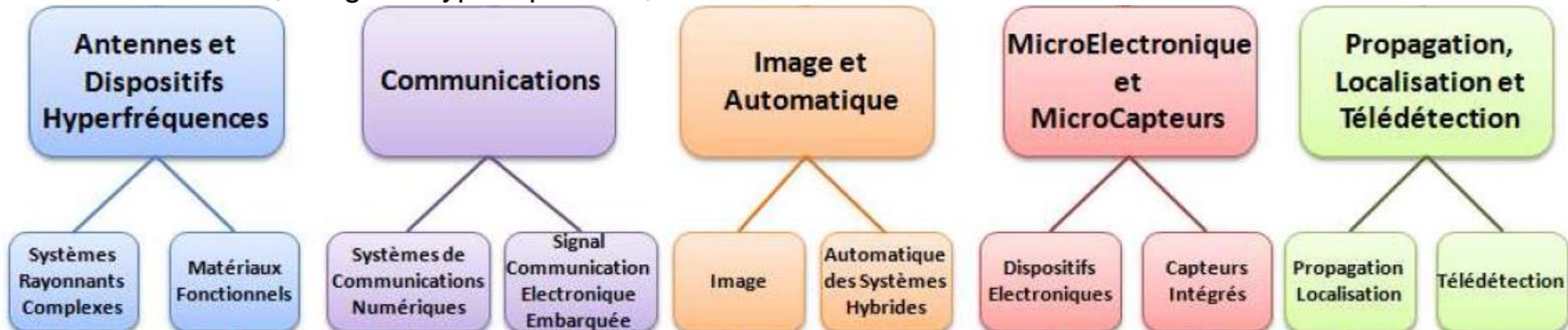
Financement : CDSN

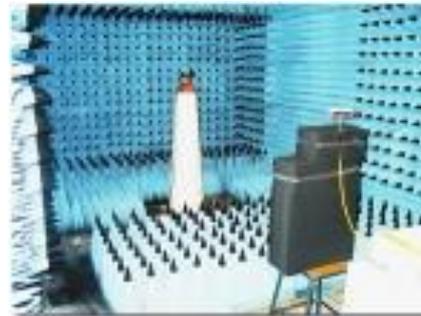
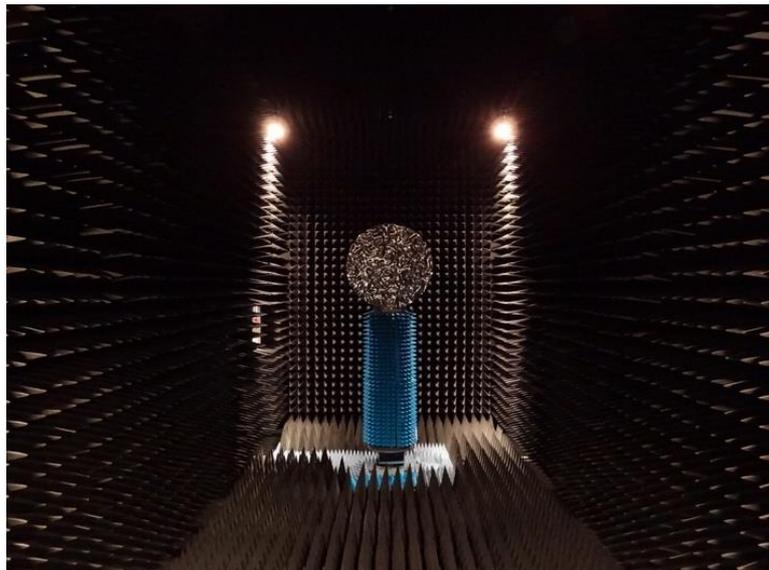
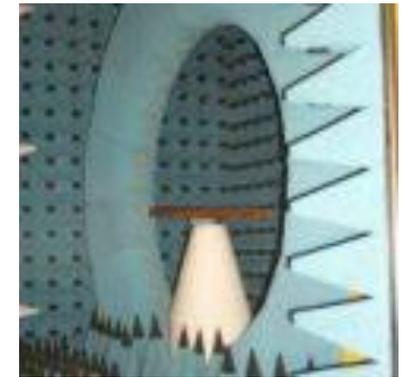
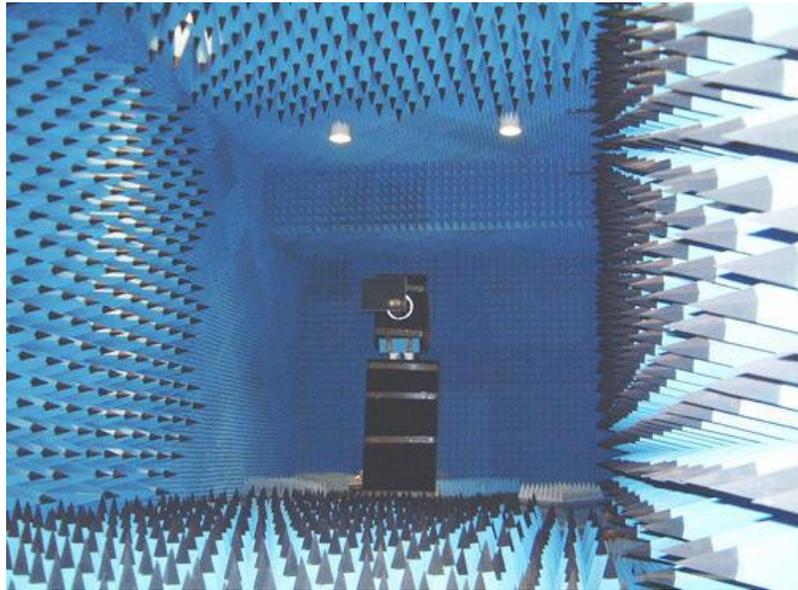
Laboratoire : IETR (Rennes)

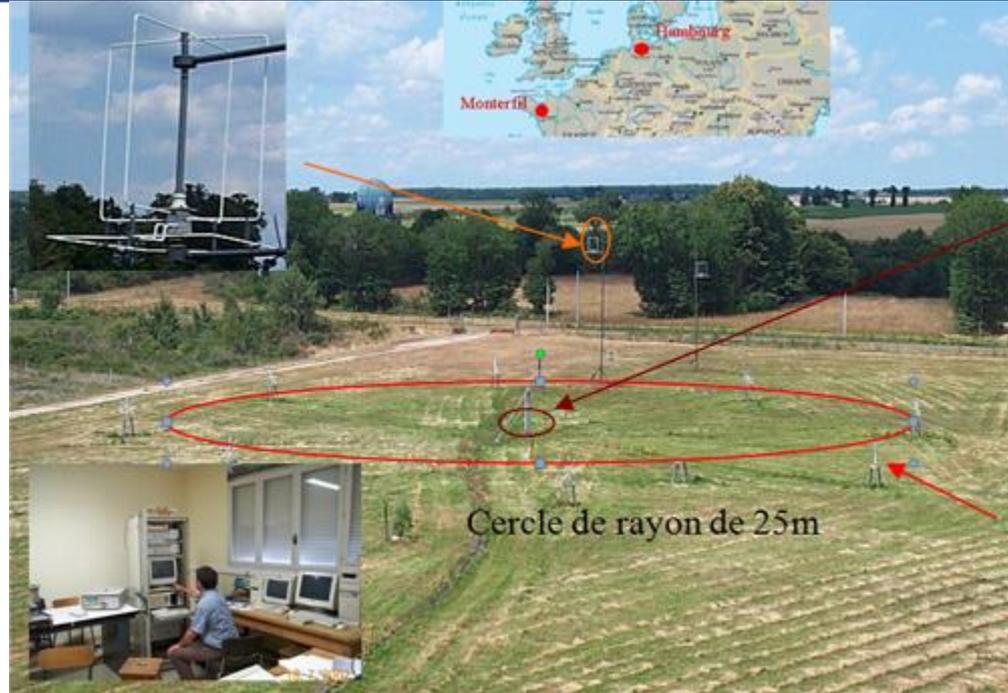
Effectifs : 348 personnes dont 145 doctorants

Domaines de recherche :

- Antennes millimétriques, modélisation électromagnétique, compatibilité, efficacité énergétique, ondes et vivants, métrologie autour des antennes ;
- Systèmes de communications numériques (MIMO, UWB, Réseaux coopératifs, cellulaires, satellites ...), Radio logicielle, radio intelligente, communications vertes, systèmes embarqués communicants ;
- Electronique flexible, micro technologie, capteurs électroniques ;
- Domotique, habitat, smart-grid ;
- Prototypage rapide, représentation, codage et analyse de l'image ;
- Sondage du canal, retournement temporel ;
- Télédétection radar, imagerie hyper spectrale, multimodale et SAR.





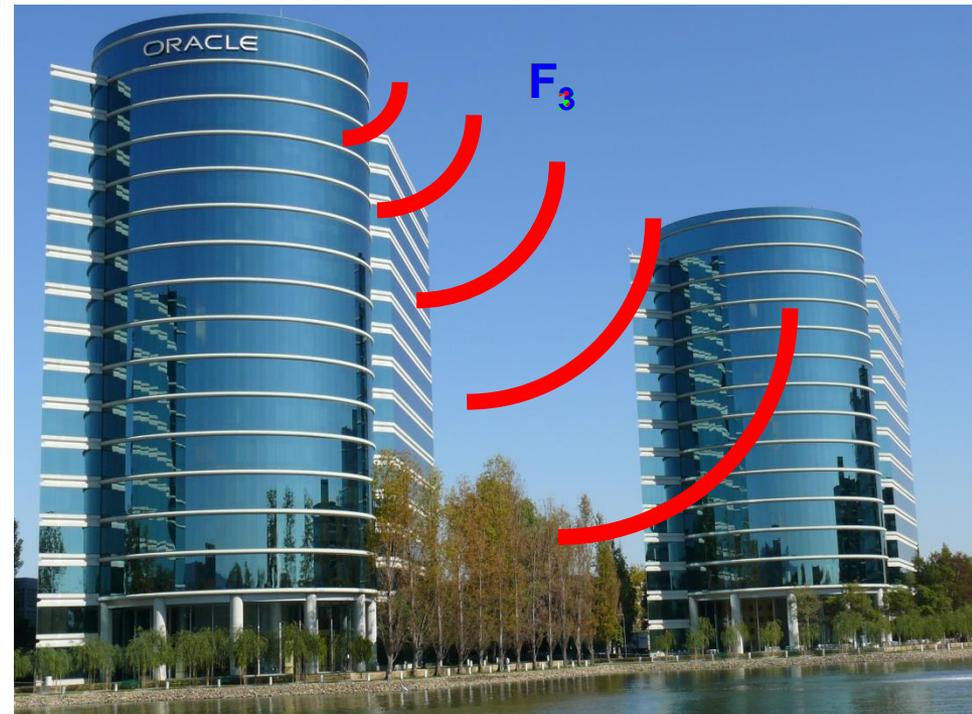


- **Antenne transparentes:**

- Implémentation sur de nouvelles surfaces
(vitrages de voitures ou de bâtiments)
- Implémentation dans des sites protégés
(sites historiques...)

- **Antennes actives:**

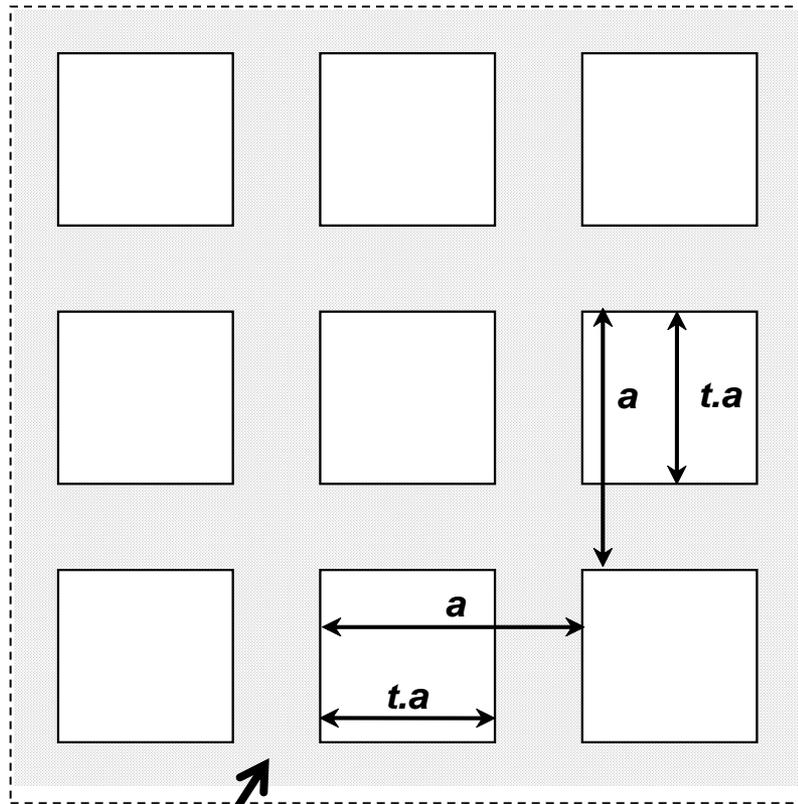
- Agilité en fréquence
- Dépointage électronique
- Formation de faisceau



| | Avantages | Inconvénients |
|--|--|---|
| Couche métallique Ultramince ⁽¹⁾ | Transparence ajustable via l'épaisseur (45% à 64%) | Résistance par carré élevée ($8 \Omega/\square$) Faible tenue dans le temps |
| Oxyde transparent conducteur (OTC) ⁽¹⁾ | Bonne transparence optique (85%) | Résistance par carré élevée ($15 \Omega/\square$) Transparence optique non constante dans le visible |
| Multicouche OTC/métal/OTC ⁽¹⁾ | Compromis entre transparence optique élevée et faible résistance par carré ($78\% - 1,2 \Omega/\square$ à $90\% - 4 \Omega/\square$) | |
| Métal maillé en couche Mince ⁽¹⁾ | Faible résistance par carré ($0.2 \Omega/\square$) | Emploi de la microtechnologie (maillage) |
| | Transparence élevée et constante (90%) | |
| Micro-metal mesh (MM) ⁽²⁾ | Compromis entre transparence optique et résistance par carré ($75\% - 0,7 \Omega/\square$) | |

⁽¹⁾ J. Hautcoeur, "Conception d'un matériau transparent et conducteur efficace : application aux antennes-panneaux transparentes pour les réseaux radio cellulaires mobiles," thèse de l'Université de Rennes 1, 2011.

⁽²⁾ B. M. Sa'ad, S. K. A. Rahim, T. Peter, M. S. Bin Abdul Rani, S. F. Ausordin, D. N. A. Zaidel, and C. Krishnan, "Transparent Branch-Line Coupler Using Micro-Metal Mesh Conductive Film," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 24, no. 12, pp. 857–859, Dec. 2014.

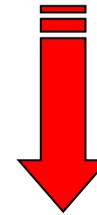


Ruban métallique

a = pas du maillage

t = taux d'ouverture de la maille ($0 < t < 1$)

$R_{\square\text{continu}}$ = résistance par carré du métal non maillé



Transparence optique

$$T (\%) = t^2 \times T_{\text{sub}} \times 100$$

Transparence optique du substrat

Résistance par carré

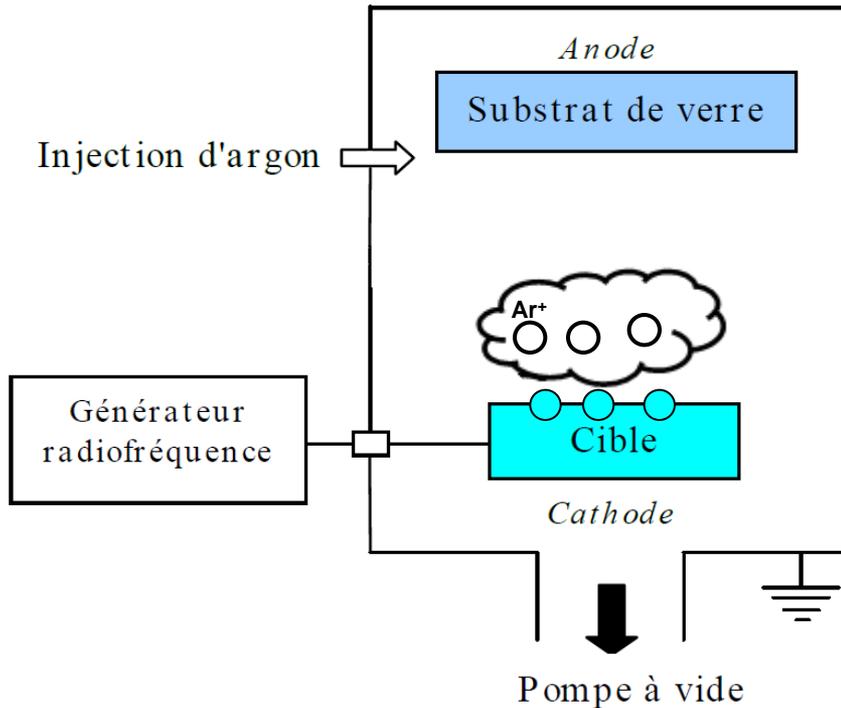
$$R'_{\square\text{maillé}} \approx \frac{1}{1-t} R_{\square\text{continu}}$$

$$\approx \frac{1}{1-t} \times \frac{\rho}{e}$$

Épaisseur de métallisation

(4) J. Hautcoeur, X. Castel, F. Colombel, R. Benzerga, M. Himdi, G. Legeay, E. Motta-Cruz, *Transparency and electrical properties of meshed metal films* Thin Solid Films, Vol.519 (2011) pp.3851-3858

Pulvérisation Radiofréquence



Paramètres de dépôt :

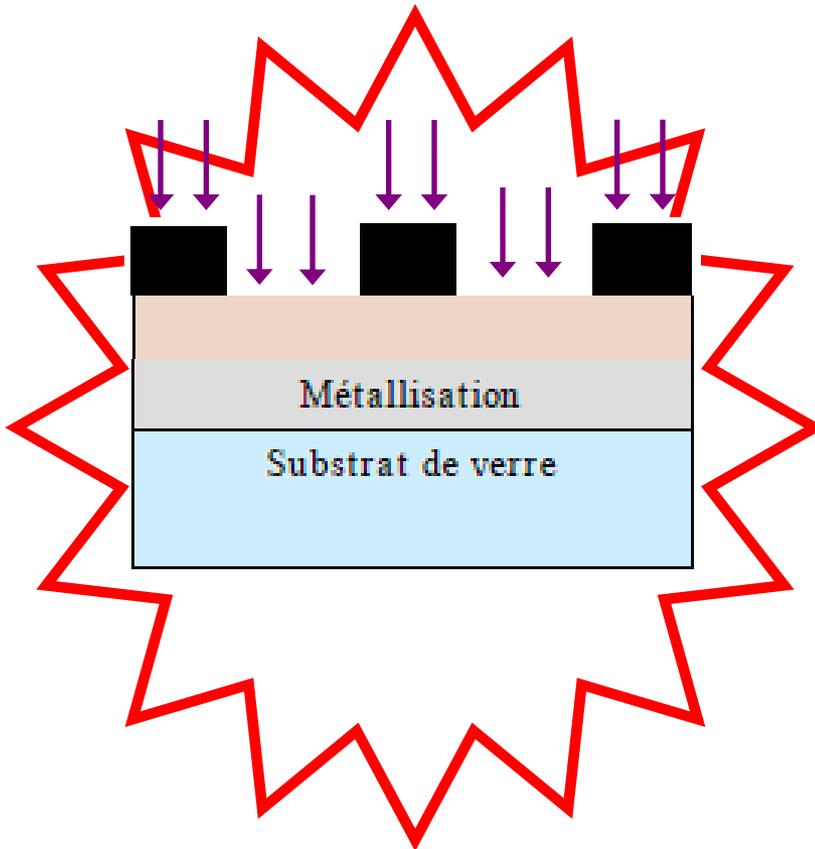
$$d_{\text{Ar}} = 30 \text{ cm}^3/\text{min} \quad P_{\text{dépôt}} = 0,0145 \text{ mbar}$$

$$\text{Épaisseur titane} = 5 \text{ nm (15s)}$$

$$P_{\text{RF}} = 200 \text{ W} \quad f = 13,56 \text{ MHz}$$

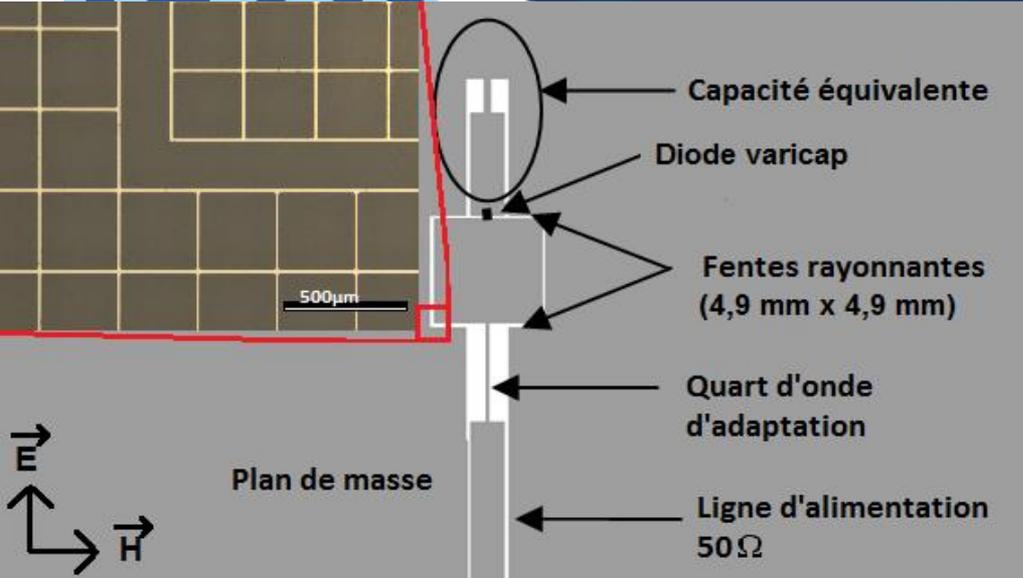
$$\text{Épaisseur argent} = 2 \mu\text{m (14min et 32s)}$$

Photolithographie

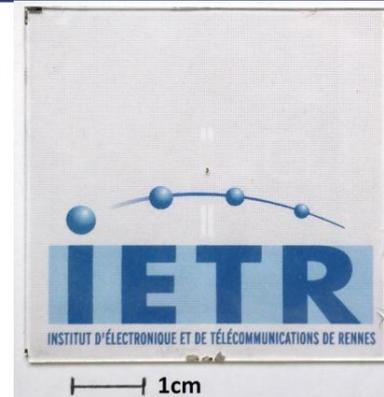


Tournette de dépôt de résine photosensible





Pas $\approx 100/300/1000\mu\text{m}$
Larg. de ruban $\approx 15\mu\text{m}$

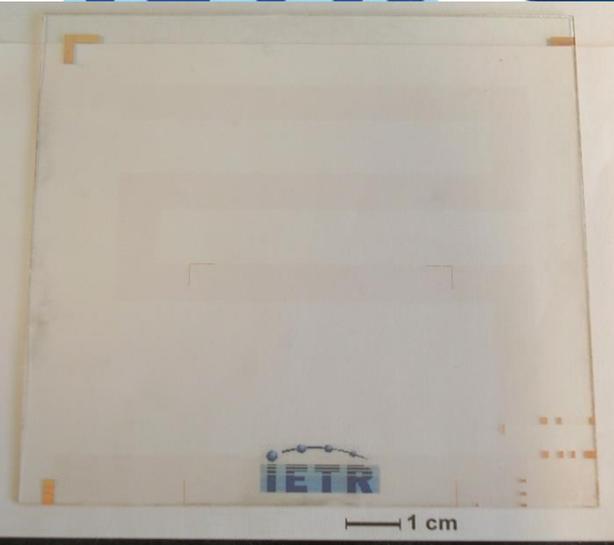


$$2\text{ V} < V < 12\text{ V}$$

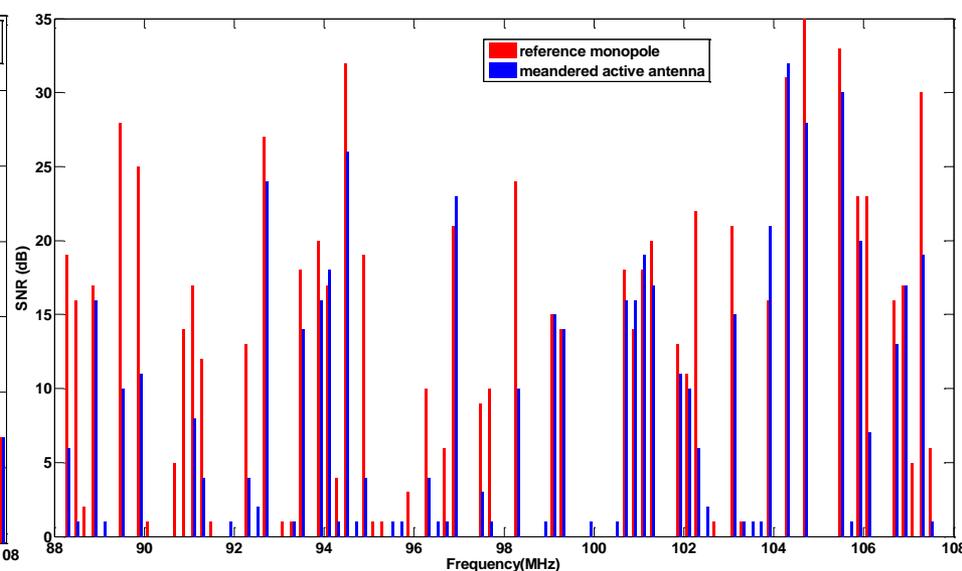
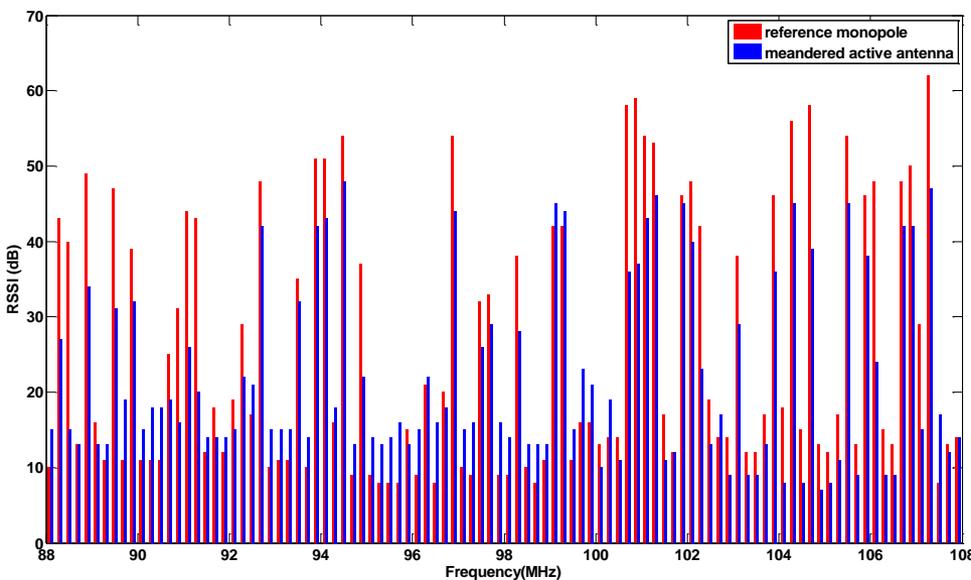
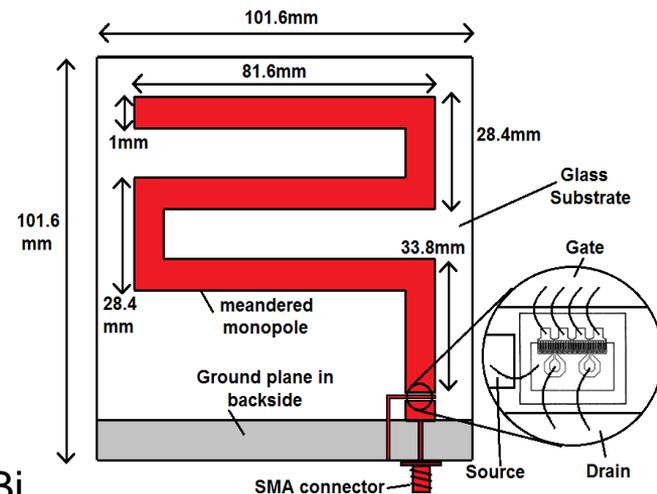
$$0,87\text{ pF} > C_j > 0,17\text{ pF}$$

50,8 mm \times 50,8 mm \times 0,7 mm

| | Fréquence de résonance (GHz) | Agilité (%) | Gain (dBi) | Résistance par carré (Ω/sq) | Transparence (%) |
|------------------------|------------------------------|-------------|------------|---|------------------|
| Simulation (opaque) | 9,1 \leftrightarrow 10,1 | 10,4 | 0,5 | $7,9 \cdot 10^{-3}$ | 0 |
| Antenne opaque | 9,2 \leftrightarrow 10,2 | 10,3 | 0,5 | $7,9 \cdot 10^{-3}$ | 0 |
| Antenne transparente 1 | 8,8 \leftrightarrow 9,8 | 10,8 | -1,5 | 0,04 | 64 |
| Antenne transparente 2 | 8,8 \leftrightarrow 9,8 | 10,8 | -2 | 0,15 | 83 |
| Antenne transparente 3 | 8,6 \leftrightarrow 9,2 | 6,7 | -3,5 | 0,52 | 89 |



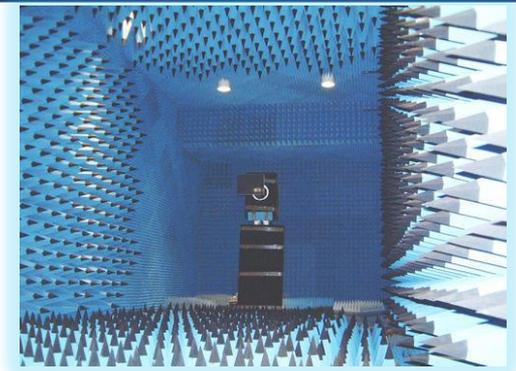
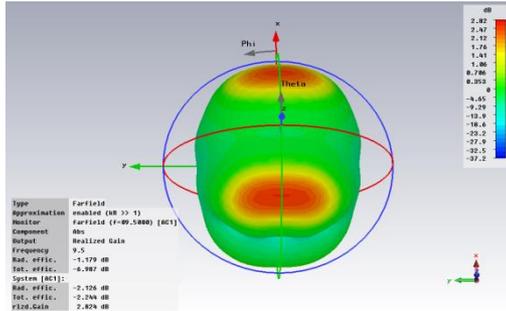
- Miniaturisation ($\lambda/21$)
- Transparence 87%
- Δ RSSI : 8,8 dB
- Δ SNR : 4,4 dB
- Gain (théorique) : -13 dBi



64h de TP à l'IUT SGM de Saint Briec (2^{ème} année)

- Electromagnétisme
 - Mesure de champ électrique créé par une sphère chargée
 - Mesure de champ magnétique créé par une spire/solénoïde et un/des fils
 - Force de coulomb
 - Force de Laplace

- Surfaces et interfaces
 - Dépôt de couche mince par pulvérisation radiofréquence
 - Spectrométrie UV/visible et IR
 - Microscopie électronique à balayage
 - Supraconducteur



Merci pour votre attention

