

Ecole Technologique 2023 - Fabrication Additive

Matériaux polymères techniques

Azar Maalouf (azar.maalouf@univ-brest.fr)

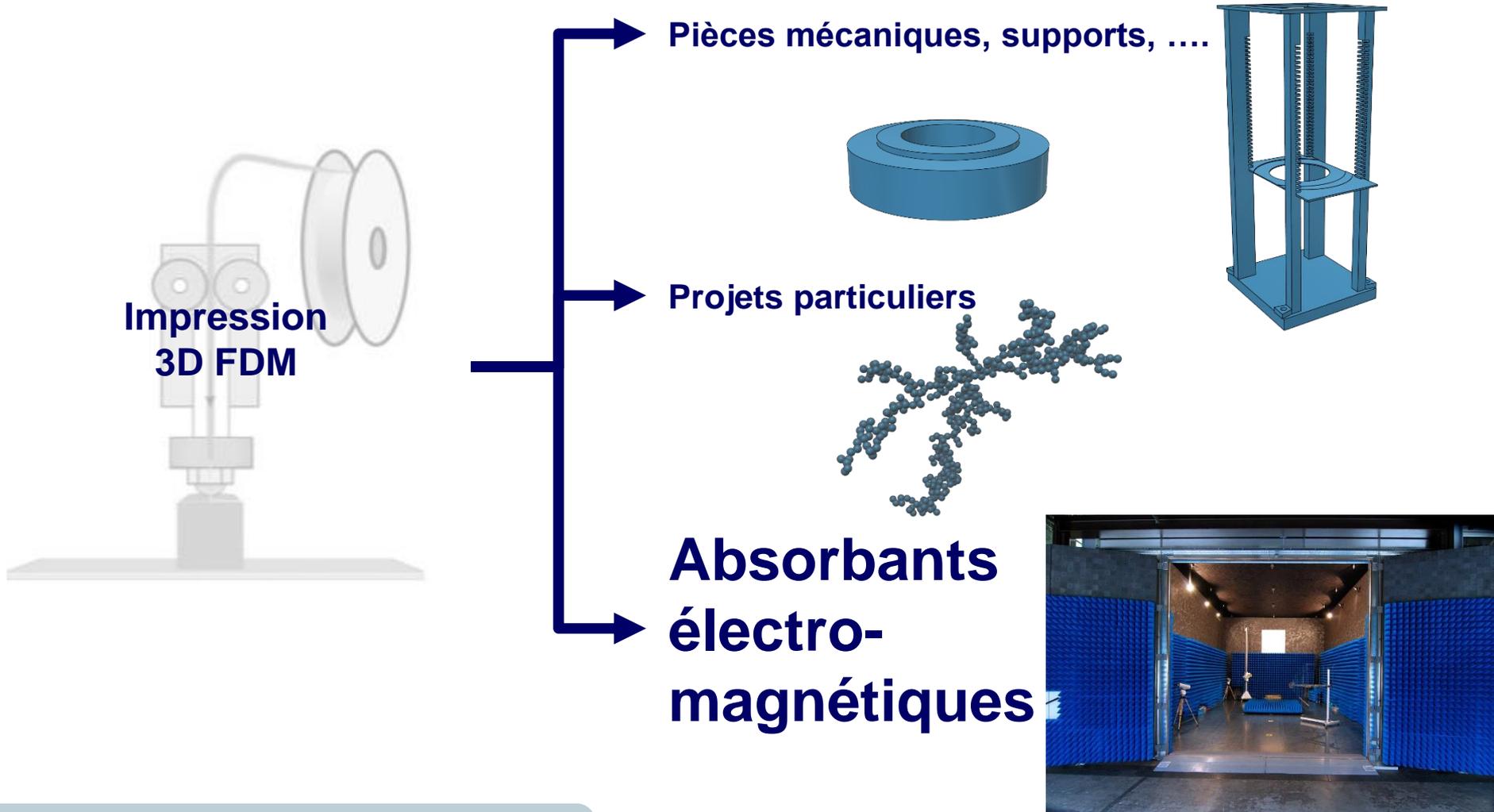


Le plan de la présentation

- ❑ **Contexte et choix de la FDM (Fused Deposition Modeling) [D3-8]**
- ❑ **Possibilités apportées par l'impression 3D et présentation de diverses études menées [D9-17]**
- ❑ **Equipements et études connexes [D18-25]**



La destination de nos impressions 3D FDM



Applications

Protection des personnes et des données

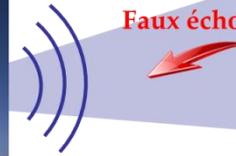


Furtivité

Packaging composants et cartes RF / Modes parasites

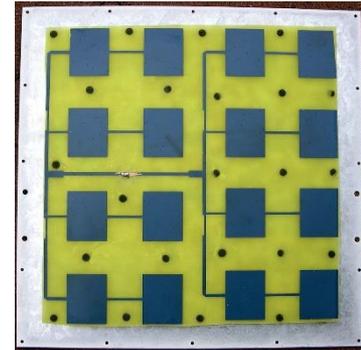


Perturbations radar (éoliennes)

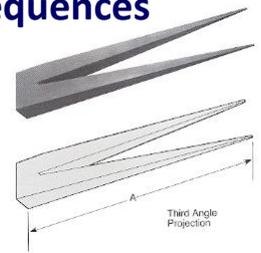


Antennes

Mesures / caractérisations

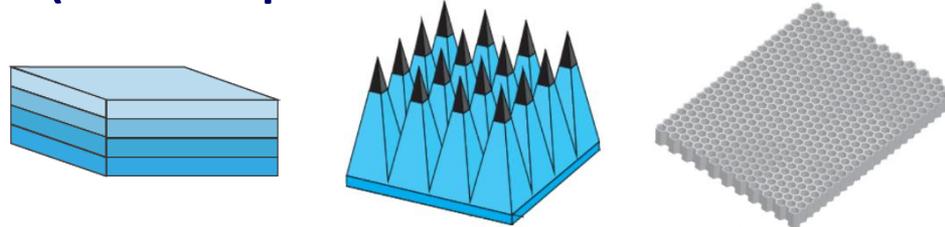


Charges hyperfréquences

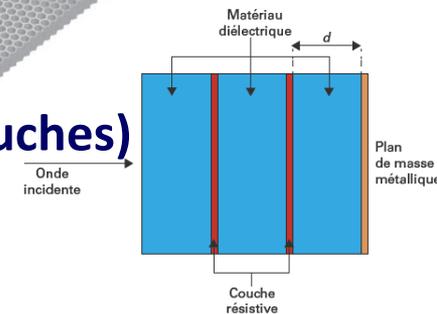


Différents types d'absorbants EM

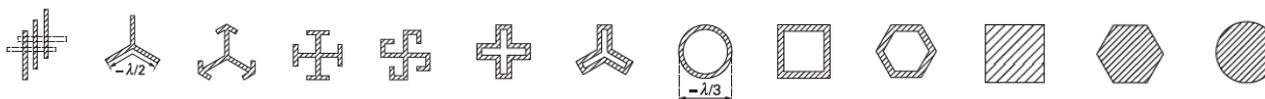
- Structures absorbantes large bande faites avec des matériaux homogènes ou des composites (diélectriques avec conducteurs électriques et/ou magnétiques)



- Structures résonantes à cavité (monocouches ou multicouches)



- Structures réalisées à l'aide de couches de motifs métalliques résonants séparés par des couches diélectriques à faible pertes

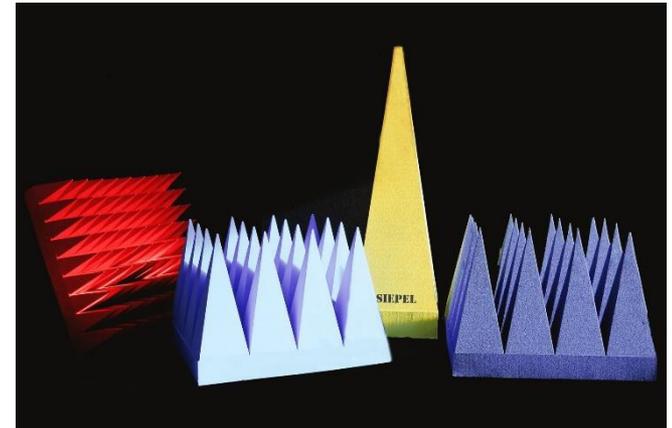
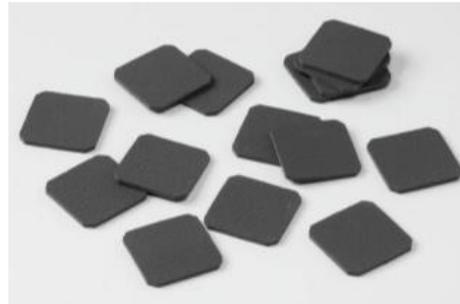


- Structures ultraminces basées sur des métamatériaux et des métasurfaces (permittivité ou perméabilité négative)

Fabrication traditionnelle des absorbants

- Usinage (matrice céramique ou polymère)
- Mousse ou papier imprégné de matériaux absorbants (carbone, matériaux magnétiques)
- (Moulage, pressage à chaud)

*Absorbant composite,
FGM de Laird
Technologies*



Absorbants pyramidaux, SIEPEL



Absorbant en nid-d'abeilles, SIEPEL



*Multicouche polyuréthane+carbone
à gradient d'indice
ECCOSORB AN77*

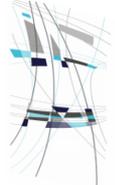


*Composite magnétique souple
ECCOSORB FGM-125*



Choix de la FDM

- ❑ **Prototypage rapide**
- ❑ **Coût raisonnable de la matière première et de l'équipement**
- ❑ **Fabrication d'objets à géométries complexes**
- ❑ **Utilisation de plusieurs matériaux simultanément (multi-matériaux)**
- ❑ **Nombreux matériaux disponibles : polymères et composites**
- ❑ **Possibilité d'étudier et de développer un nombre important de nouveaux matériaux**



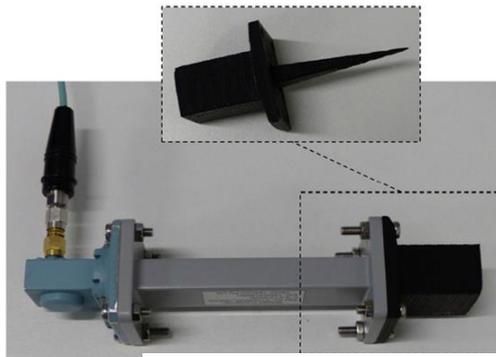
Besoins et études

- **Besoins**
 - **Applications basses températures (PLA-C, ABC-ESD)**
 - **Applications hautes températures (> 150°C en continu) et/ou hautes puissances (PEEK-ESD, PEKK-ESD, PEI-ESD, PPS-ESD)**
 - **Structures souples (PU)**

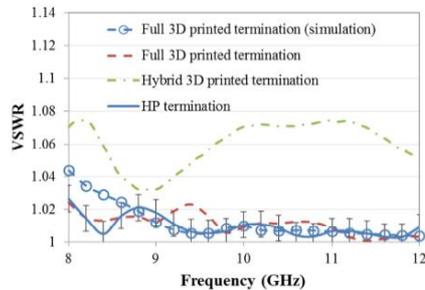
- **Etudes**
 - **Optimisation de structures connues (miniaturisation, meilleures performances)**
 - **Études de nouvelles structures aujourd'hui réalisables par impression 3D**
 - **Etudes de nouveaux matériaux pour la FDM**

PLA, ABS chargés carbone

- Absorbants en ligne de transmission (charges)
 - Charges en guide d'onde mono- ou multi-matériaux de 8 GHz à 110 GHz

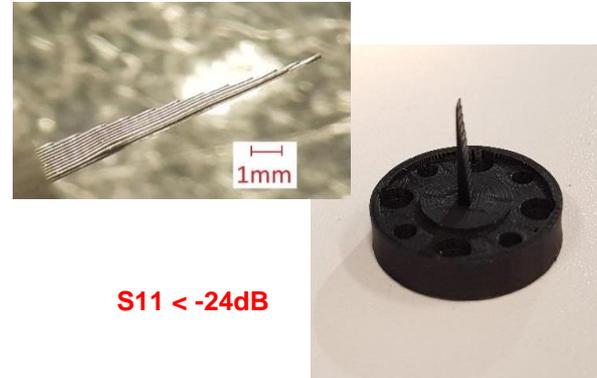


TOS < 1,025
P_{max} > 11W

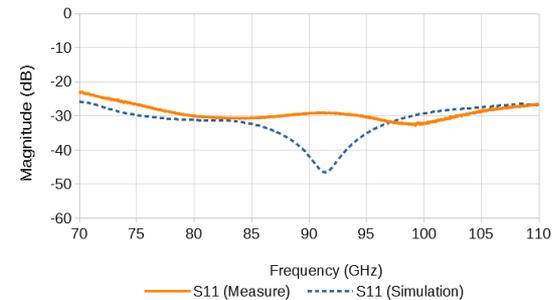


Charge pyramidale en bande X

ABS-ESD (Nanovia)



S11 < -24dB



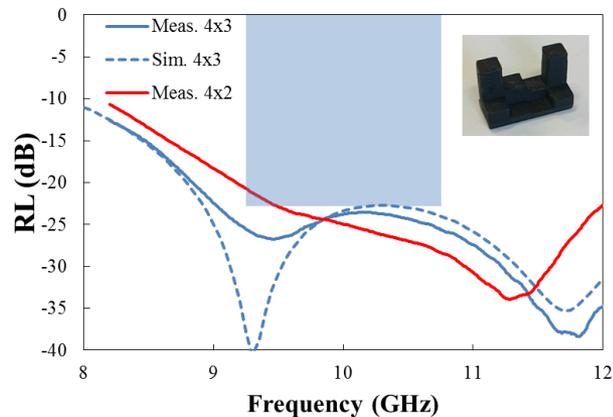
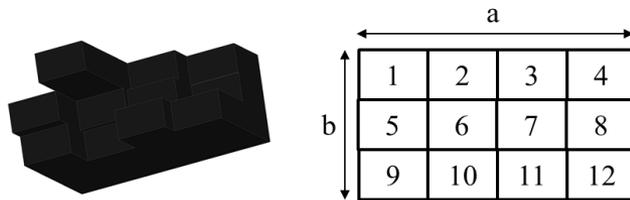
Charge biseau en bande W

PLA-C (Proto-pasta)

PLA, ABS chargés carbone

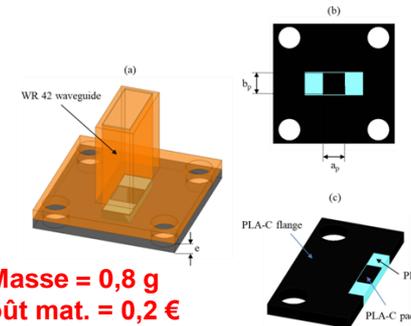
- Absorbants en ligne de transmission (charges)
 - Charges compactes en guide

Manhattan-like absorber (MLA)

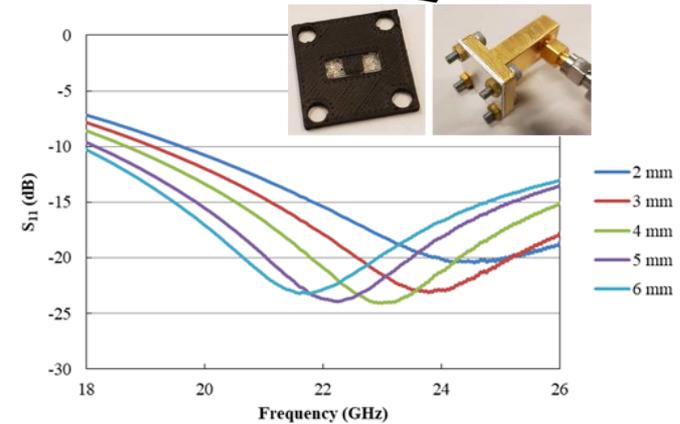


Charge compacte en bande X

ABS-C (Torwell)



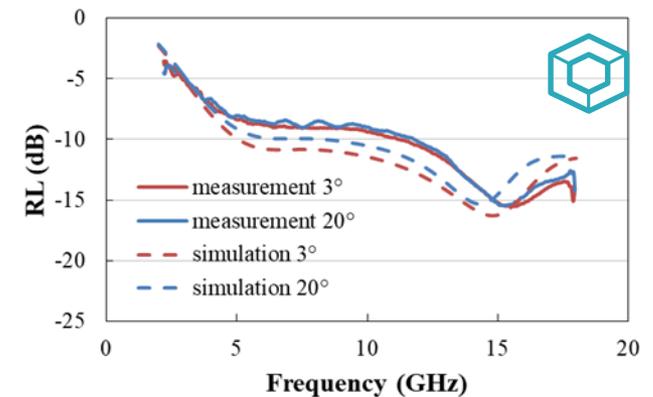
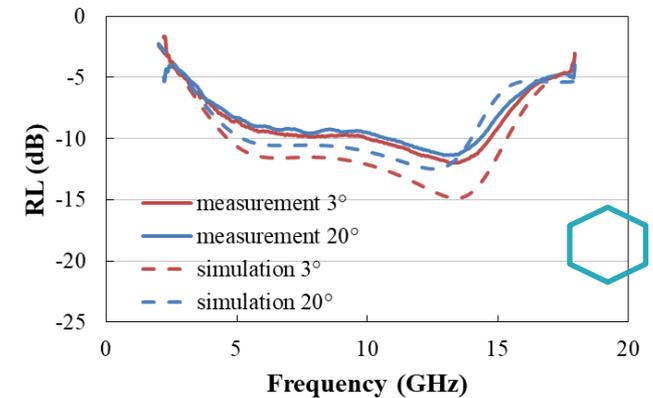
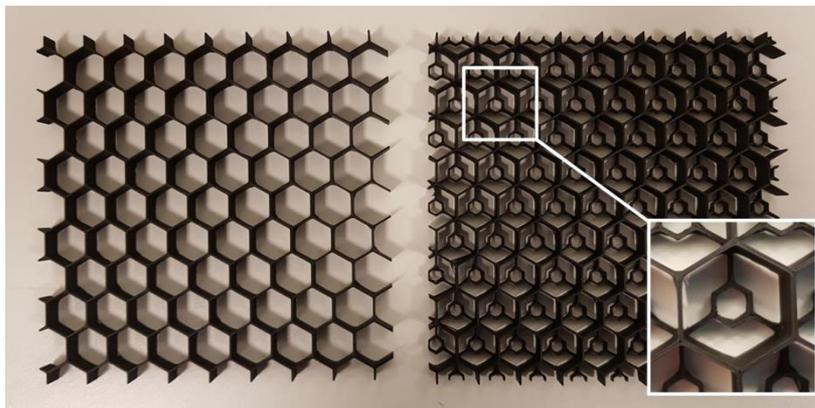
Masse = 0,8 g
Coût mat. = 0,2 €



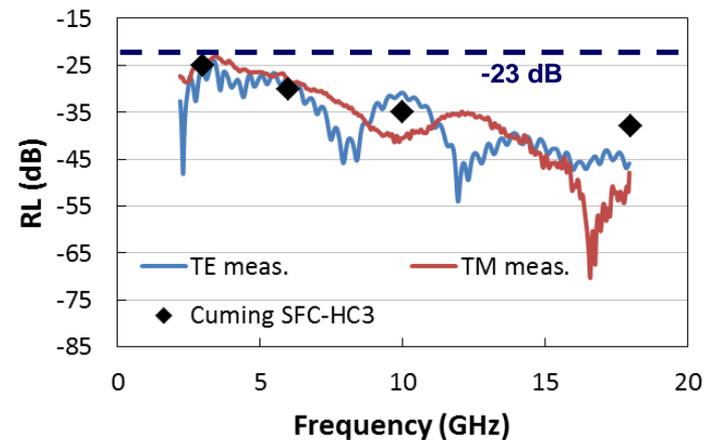
Charge ultra-compacte en bande K

PLA-C (Proto-pasta)

- Absorbants en espace libre
 - NIDA simple et multi-échelle (ME)
 - **Maîtrise de la remontée HF par NIDA-ME**

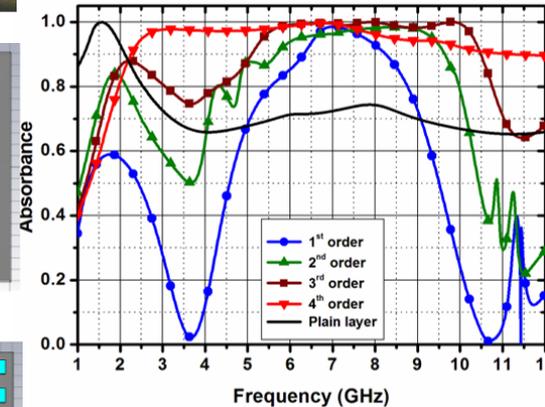
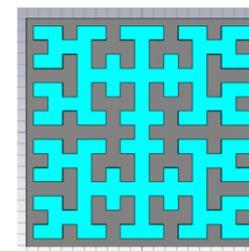
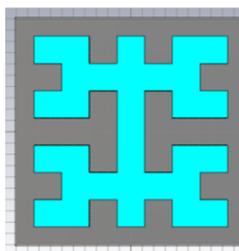
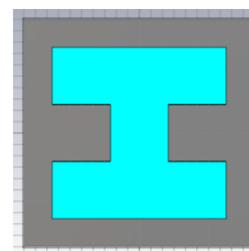
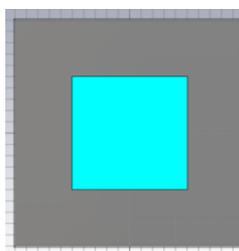
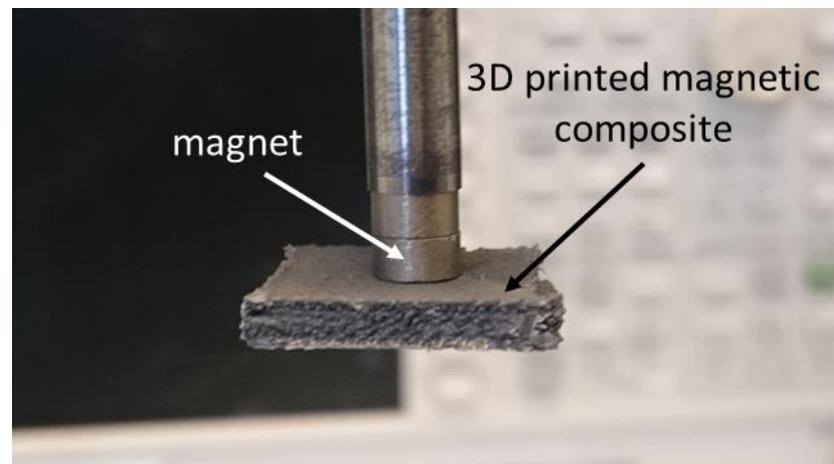
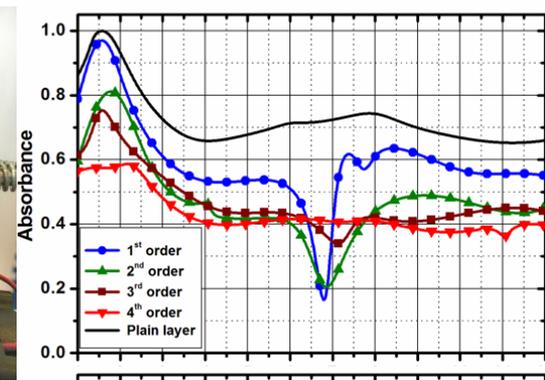
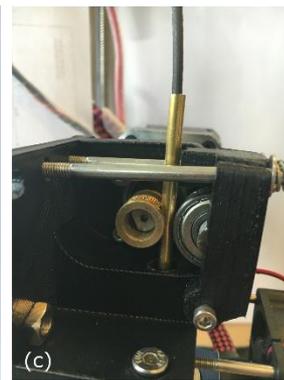
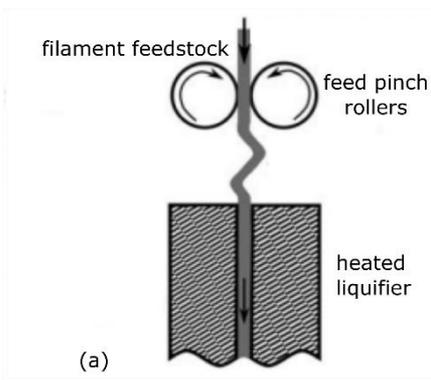
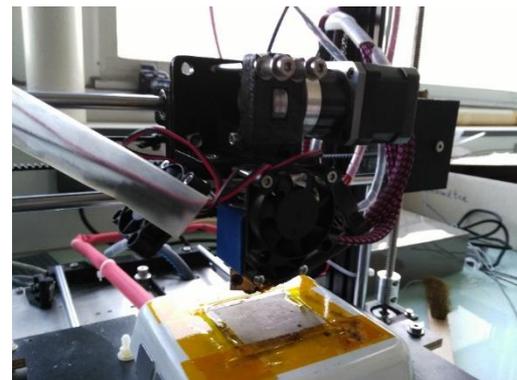


- Absorbants en espace libre
 - NIDA pyramidaux (hauteur = 82 mm)
 - Impression de 4 pièces 15 cm x 15 cm (23h)
 - Performances comparables à un absorbant commercial similaire



PE/NiFe

□ Absorbants en espace libre

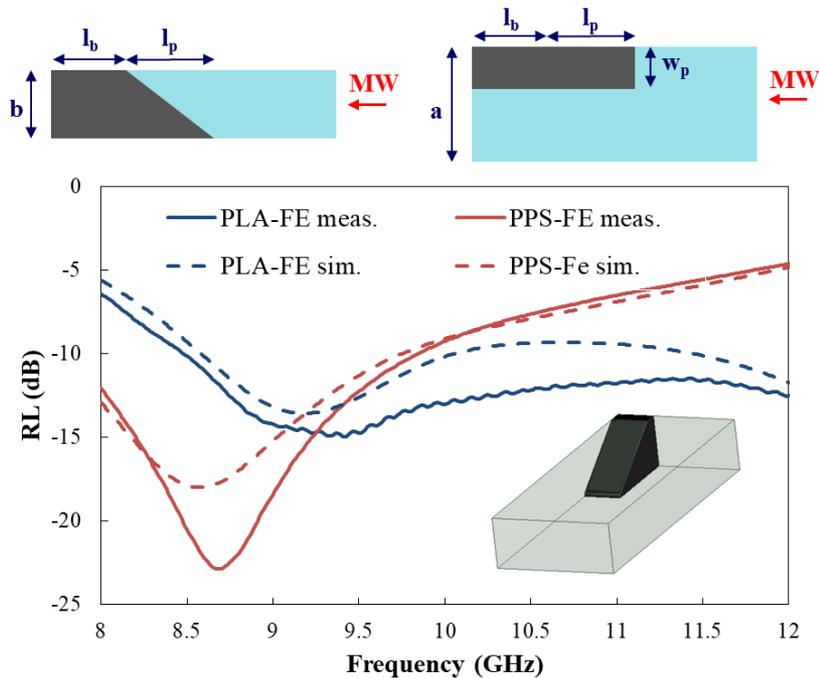


Spectres d'absorption avec le métal structuré en haut et avec le composite structuré en bas [PE(60%)-NiFe(40%)]_{vol}

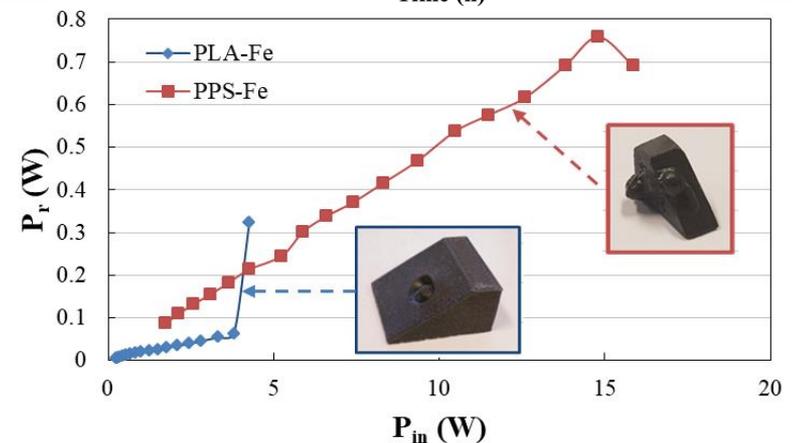
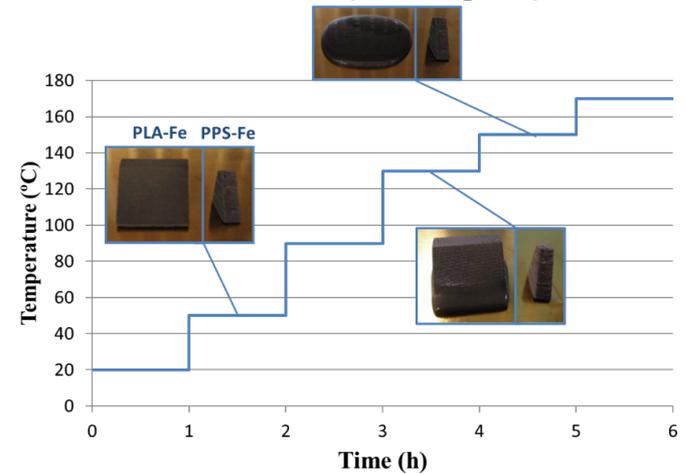
Parallélépipède imprimé avec [PE(70%)-NiFe(30%)]_{vol}

Structuration de motifs selon les courbes de Moore

□ Absorbants haute température en ligne de transmission (charges)



Charge biseau en bande X

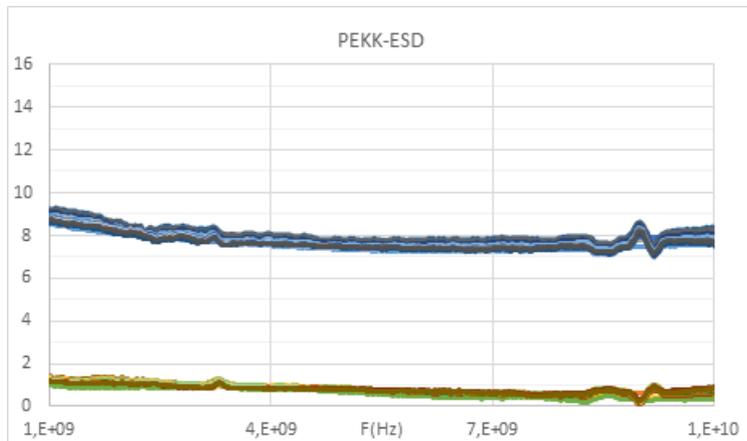
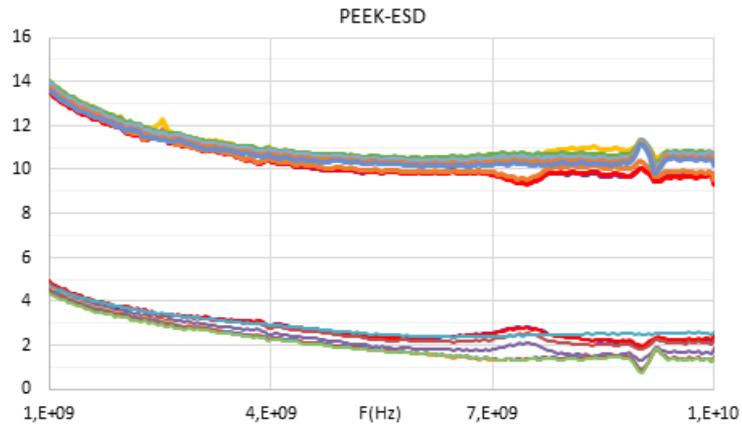


Evolution en fonction de la température et de la puissance

PLA/Fe (ProtoPasta) vs [PPS(80%)/Fe(20%)] (non comercial)

Matériaux hautes températures

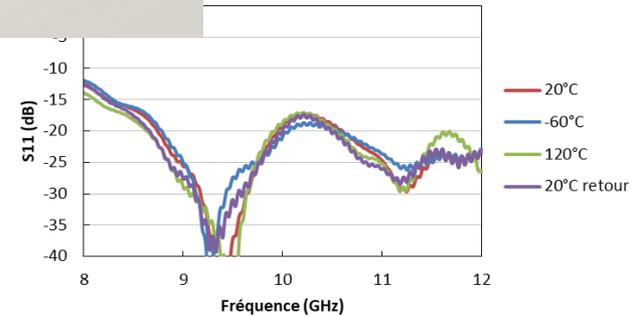
□ (PEKK, PEKK, PPS, PEI)-ESD



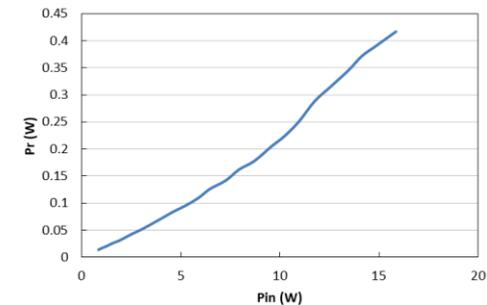
Spectre de permittivité pour les différentes températures de -50°C à 100°C



PEKK-ESD-3

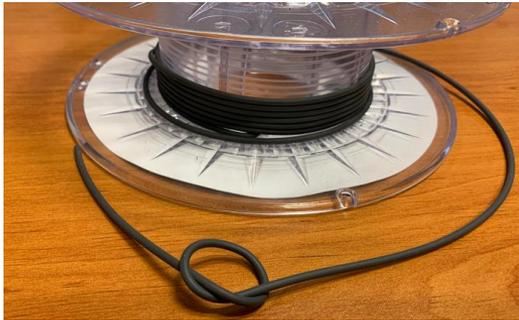


Evaluation de la stabilité en température d'une charge en PEKK-ESD



Evolution de la puissance réfléchiée en fonction de la puissance incidente d'une charge en PEKK-ESD

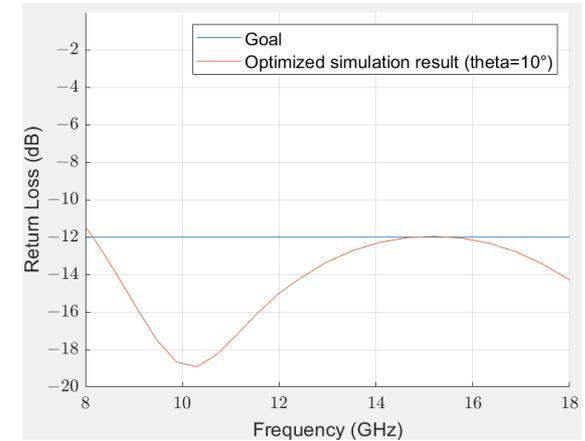
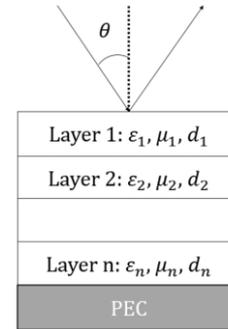
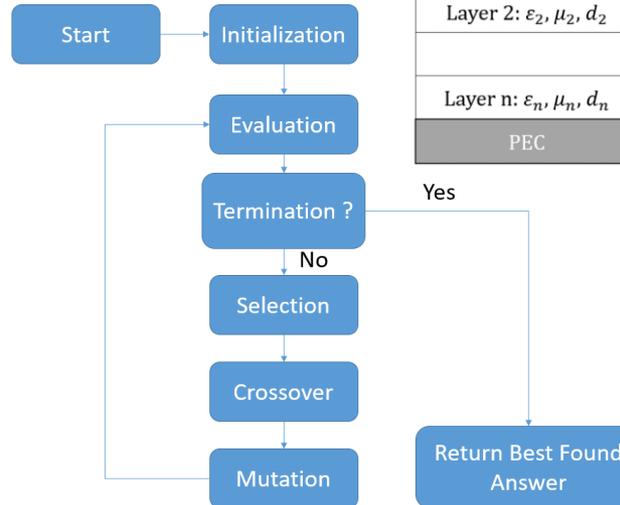
□ Absorbants souples en espace libre



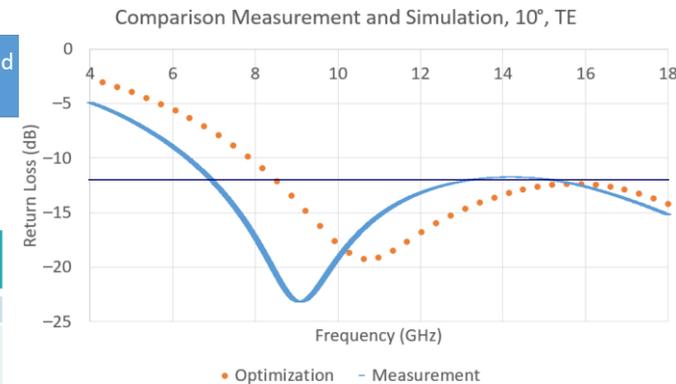
[PU(70%)-Fe(30%)]_{vol}



Layer 1
Layer 2
Layer 3



15 couche, e=4 mm



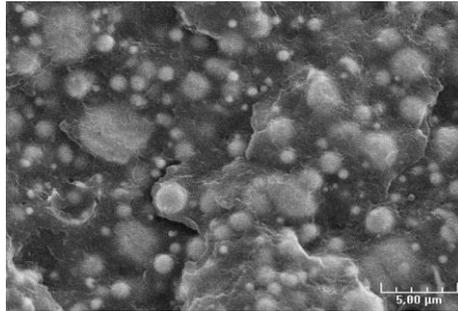
3 couche, e=4,1 mm

Optimisation d'un absorbant multicouche à l'aide d'un algorithme génétique

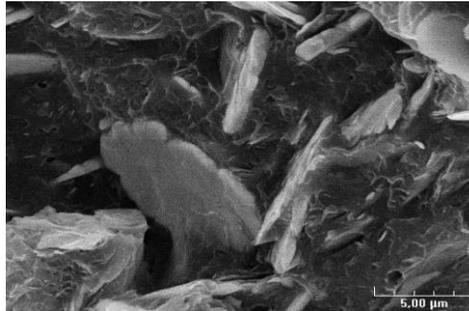
N° Layer	Composition	Thickness (mm)
1	Non-loaded	1.3
2	Non-loaded with porosity	1.6
3	Magnetic loaded	1.2

(ABS-PE)/Fe

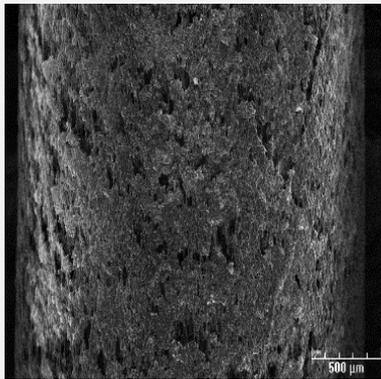
Etude sur la formulation de la matrice et sur la forme des charges



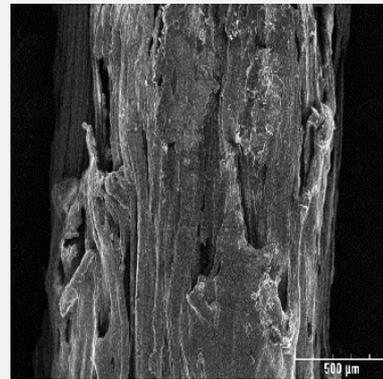
$[ABS-Fe_S]_{vol}$



$[ABS-Fe_L]_{vol}$

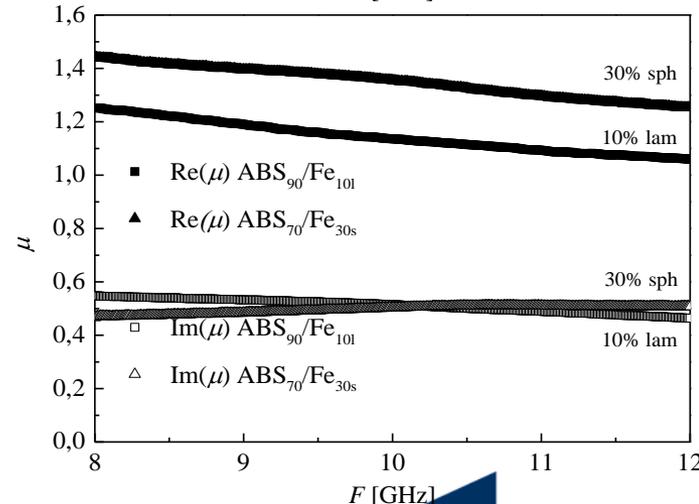
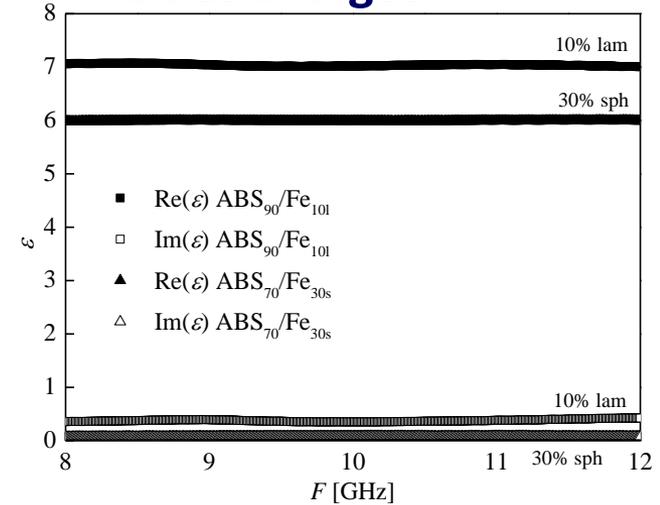


$[ABS(70\%)-Fe_S(30\%)]_{vol}$



$[(ABS_{80\%}/PE_{20\%})(70\%)-Fe_S(30\%)]_{vol}$

Pas d'impact de la matrice sur les propriétés EM



Nos imprimantes FDM



- 2 machines de marque 3ntr

- $T_{\max \text{ extr.}} = 450^{\circ}\text{C}$, $T_{\max \text{ lit}} = 160^{\circ}\text{C}$, $T_{\max \text{ enceinte}} = 90^{\circ}\text{C}$
- A4v3 : 2 buses, $\text{Vol.}_{\max} = 295 \times 195 \times 200 \text{ mm}^3$
- A2v4 : 3 buses, $\text{Vol.}_{\max} = 600 \times 325 \times 500 \text{ mm}^3$



- 1 machines de marque Apium (P155)

- $T_{\max \text{ extr.}} = 520^{\circ}\text{C}$, $T_{\max \text{ lit}} = 160^{\circ}\text{C}$
- 1 buse, $\text{Vol.}_{\max} = 145 \times 135 \times 148 \text{ mm}^3$



- 1 machines de marque RAISE3D (Pro2)

- $T_{\max \text{ extr.}} = 300^{\circ}\text{C}$, $T_{\max \text{ lit}} = 110^{\circ}\text{C}$
- 2 buses, $\text{Vol.}_{\max} = 305 \times 305 \times 300 \text{ mm}^3$

Réalisation des filaments...

- ❑ Etapes pour l'obtention de composites compatible FDM
 - ❑ Malaxage à l'état fondu ⇒ **composites à matrice polymère**
 - ❑ Cryobroyage ⇒ **granulés de composites**
 - ❑ Filage par convoyage/extrusion ⇒ **filaments composites FDM**



...jusqu'au semi industriel

Ligne de filage du Plateau technique Compositic

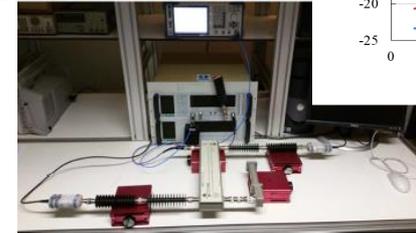
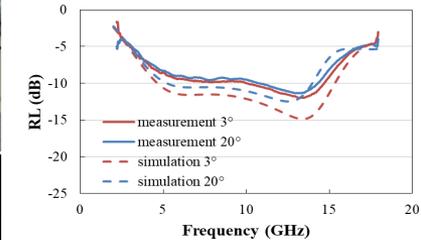
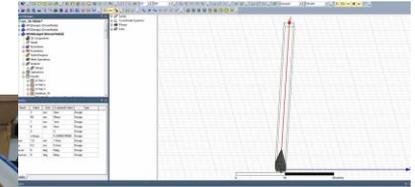
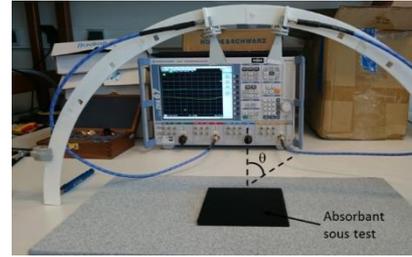




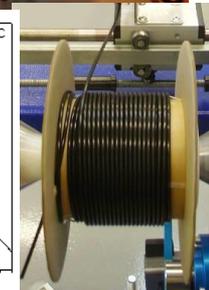
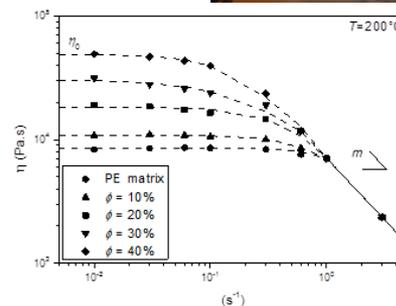
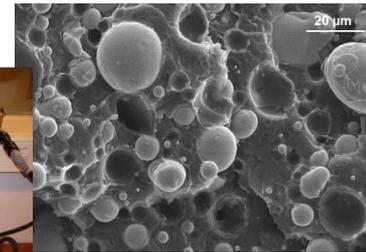
Etudes connexes



- ❑ Simulations électromagnétiques
- ❑ Design des structures
- ❑ Impression 3D
- ❑ Caractérisations électromagnétiques, dimensionnelles, thermiques et en puissance



- ❑ Etudes et caractérisations rhéologiques
- ❑ Caractérisations structurales et thermomécaniques
- ❑ Réalisation des filaments

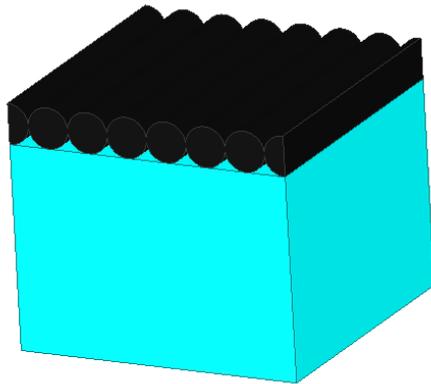
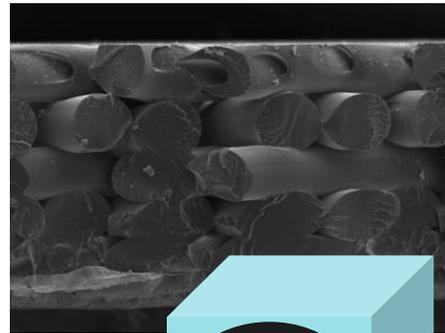
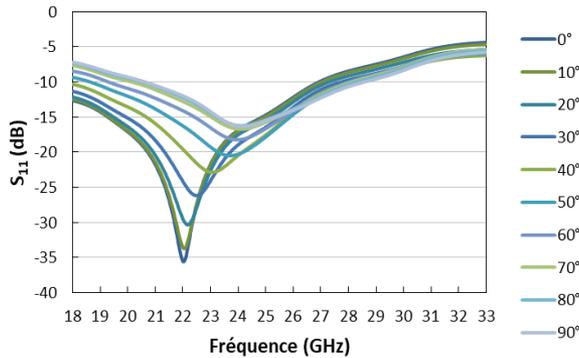


Etudes connexes

□ Absorbants en espace libre

□ Ecran de type Salisbury

□ Mise en évidence d'une dépendance angulaire en φ (anisotropie planaire)

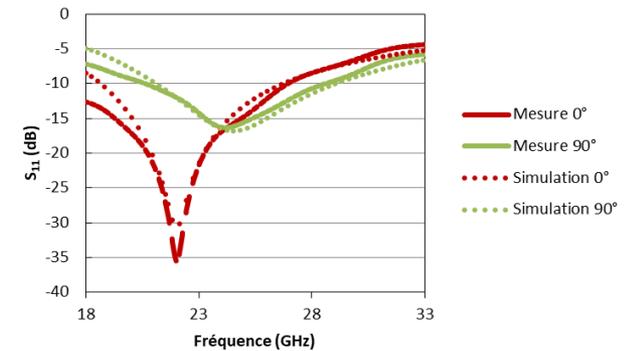


$$\sum C_i \frac{\epsilon_i - \epsilon}{\epsilon + N(1 - \epsilon)} = 0$$

$$(1 - N)\chi^2 + [1 + (N - C)\chi_i]\chi - C\chi_i = 0$$

$$N = \begin{pmatrix} 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$\epsilon_{//} = 13,2$ et $\epsilon_{\perp} = 10,2$ pour $\epsilon_i = 16,8$



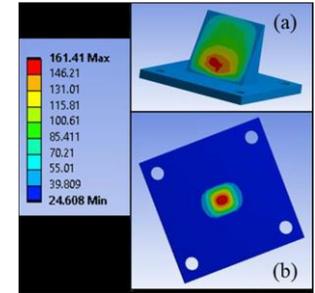
Etudes connexes

Etudes thermiques et en puissance :

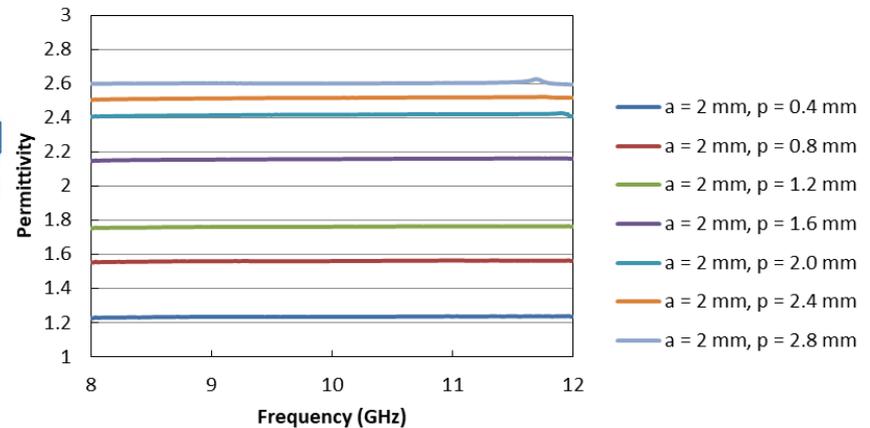
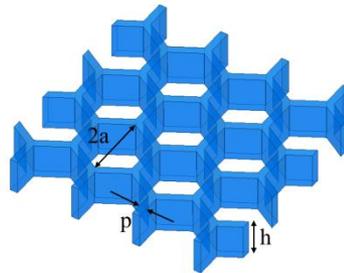
- Mesures des propriétés EM en fonction de T
- Mesures des autres propriétés dépendantes de la T (Conductivité thermiques, chaleur spécifiques,...)

→ Simulations multiphysiques →

Prédiction des performances en fonction de T

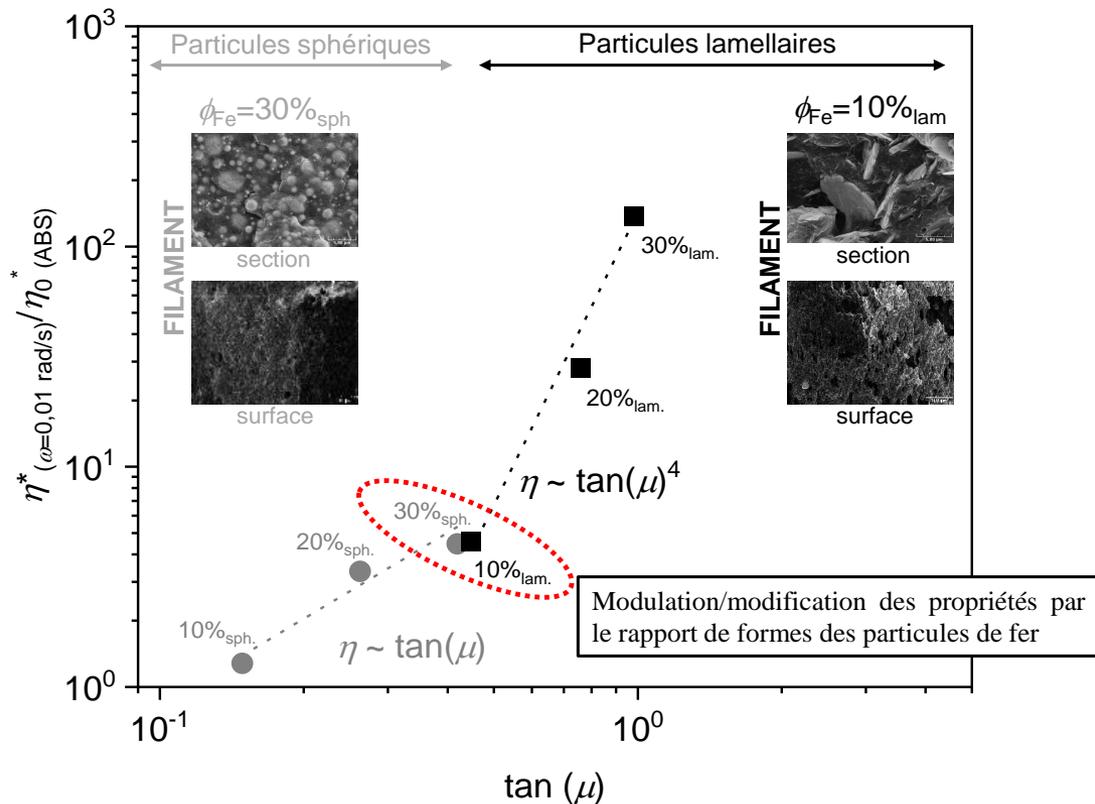
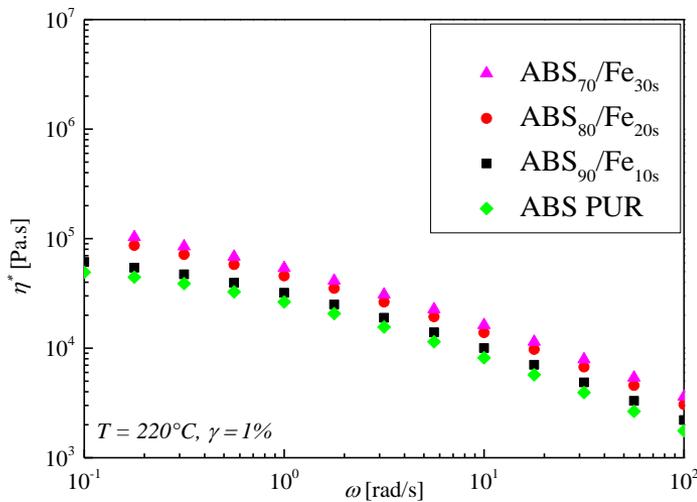


Etudes de l'évolution des propriétés EM en fonction de la porosité créée directement par impression 3D



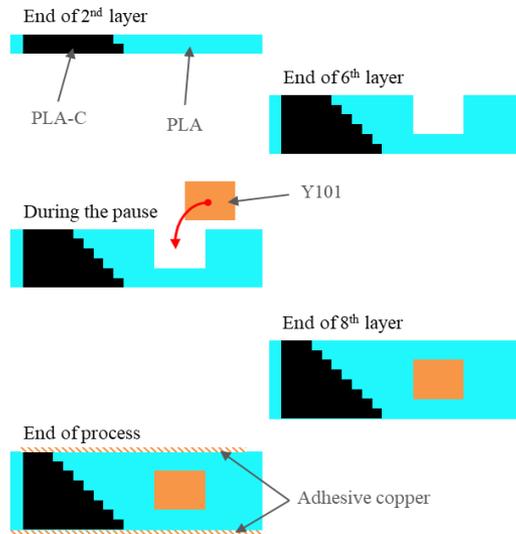
Etudes connexes

- ❑ Relation morphologies des charges – propriétés EM et rhéologiques
- ❑ Relation propriétés rhéologiques – imprimabilité



Etudes connexes

□ Intégration d'objets pendant l'impression



Procédé de fabrication



Isolateur réalisé et réponse en bande C (4-8GHz)



**Merci à toutes les personnes qui ont participé
à ces travaux...**

...et merci de votre attention