

# **Elaboration par impression 3D de composites à performances électromagnétiques contrôlées : étude des relations matériaux-procédés-propriétés**

## **3D printing of composites materials with electromagnetic controlled performances: processing-materials-properties relationships characterizations**

### **Contexte :**

Les applications des absorbants électromagnétiques se sont multipliées ces dernières années. Autrefois restreintes à la furtivité des systèmes de défense, les surfaces absorbantes radar (ou Radar Absorbing Materials RAM) trouvent aujourd'hui de nombreux débouchés dans l'industrie (compatibilité électromagnétique dans les cartes RF, suppression de lobes secondaires pour les antennes...). En outre, l'accroissement important des technologies sans fil a fait récemment exploser les taux d'exposition des personnes aux ondes électromagnétiques. Cette exposition permanente soulève de nouvelles questions et problématiques de santé publique et la protection des personnes et de l'habitat contre les ondes est ainsi devenue une problématique d'actualité. Les applications potentielles des surfaces absorbantes sont aujourd'hui nombreuses et les technologies employées pour leur réalisation doivent évoluer pour répondre à ces nouveaux besoins.

La technologie de fabrication la plus classique consiste à mouler un mélange d'élastomère et de particules à pertes (fer carbonyle le plus souvent). Une autre approche consiste à fabriquer des mousses chargées par des particules de carbone. Après moussage, les mousses sont usinées pour concevoir des plaques ou des pyramides (dans le cas particulier des chambres anéchoïques). Ces techniques de fabrication rendent difficiles la conception d'absorbants à géométrie complexe ou multi-matériaux, et donc, d'en explorer les possibilités.

Plus récemment, en raison de son faible coût de mise en œuvre, l'impression 3D par dépôt filaire fondu est apparue comme l'une des méthodes les plus adéquates pour la mise en forme d'objets à géométrie complexe. Parallèlement, le développement de matériaux innovants contribue à celui de l'impression 3D filaire si bien qu'aujourd'hui, cette technique sort du champ exclusif du prototypage pour servir dans divers domaines tels que le médical, l'industrie automobile, le génie civil et l'électronique. Enfin, cette technique permet de limiter l'utilisation des matières premières au contraire des techniques de moulage/usinage. Il existe cependant certains verrous à la généralisation de cette technique de fabrication tels que les temps d'impression, la tenue en température des matériaux usuellement utilisés ainsi que la maîtrise dimensionnelle des objets.

### **Objectifs :**

Ce projet de thèse vise à développer de nouvelles structures d'absorption électromagnétique multi-matériaux par l'utilisation d'une technique d'impression 3D.

Pour ce faire, des filaments à matrice polymère sont élaborés par extrusion puis mis en forme par filage ; les comportements rhéologiques linéaires et non-linéaires ainsi que les propriétés

structurales à différentes échelles sont étudiés, l'idée étant d'émettre des critères d'imprimabilité des matériaux élaborés en se basant sur une étude des relations matériaux-procédés-propriétés.

Par la suite, l'impression filaire basée sur la réalisation d'objets couche par couche (d'épaisseur individuelle comprise entre 50  $\mu\text{m}$  et 200  $\mu\text{m}$ ) consiste à déposer chaque filament sur un lit au travers d'une buse d'impression chauffée à une température supérieure à la température de fusion du polymère. La buse se déplace dans le plan xOy et, entre chaque couche, le lit se déplace suivant l'axe z. Cette technique très bas coût permet d'utiliser de nombreux matériaux, dont des composites, dont les propriétés électromagnétiques peuvent être adaptées à la conception d'absorbants. Aujourd'hui, les imprimantes permettent de fabriquer des objets multi-matériaux ouvrant le champ des possibles d'un point de vue applicatif.

Des travaux récents au Lab-STICC ont montré qu'il était possible de fabriquer des surfaces absorbantes alvéolaires par impression 3D. En pratique, ces nids d'abeilles (NIDA) sont recouverts d'une peau diélectrique permettant d'assurer l'étanchéité de la structure. L'impression multi-matériaux pourrait permettre de fabriquer en une seule étape le NIDA et sa peau. Des premières simulations montrent l'intérêt d'utiliser cette structuration multicouche. La Fig. 1 compare ainsi un bicouche constitué de deux couches pleines de PLA (bleu) et de PLA conducteur (noir) et un bicouche constitué d'une couche pleine de PLA et d'un NIDA en PLA conducteur. Le bicouche plein optimisé présente une bande passante à -10 dB de 6,6 GHz pour une épaisseur totale de 4,7 mm. Le bicouche NIDA optimal présente lui une bande passante de 9,55 GHz pour une épaisseur légèrement supérieure de 6,4 mm. Ces premières simulations démontrent l'intérêt d'une structuration multicouche multi-matériaux pouvant être réalisée en une étape unique d'impression.

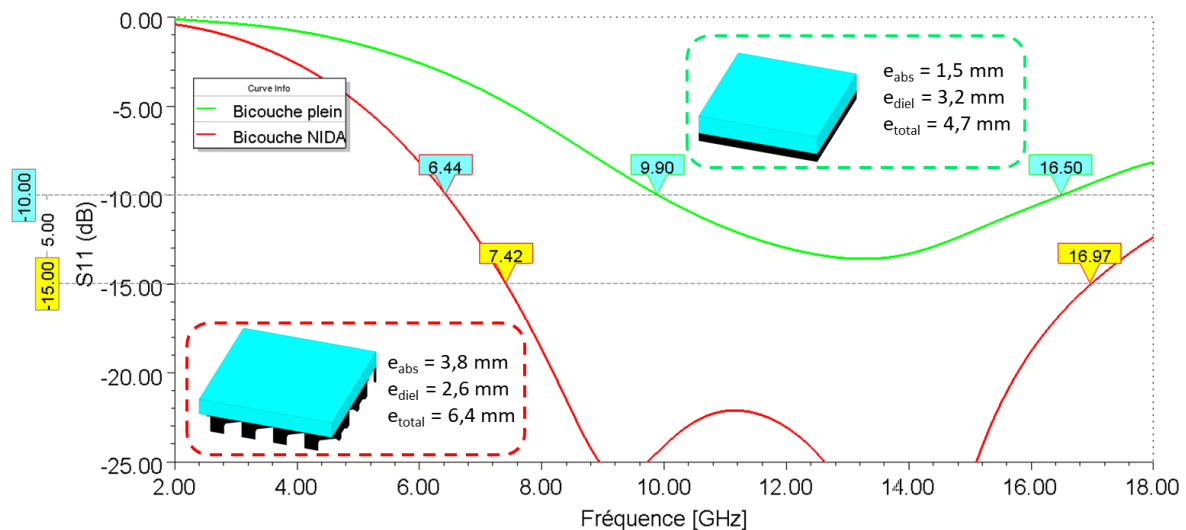


Fig. 1. Comparaison des coefficients de réflexion d'une surface bicouche pleine (vert) et d'un NIDA avec sa peau (rouge) dans la bande 2-18 GHz.

### Caractère novateur :

D'un point de vue académique, le caractère novateur de cette thèse consiste en une meilleure compréhension des relations entre structure à différentes échelles et rhéologie à l'état fondu afin d'établir des critères d'imprimabilité 3D filaire pour réaliser des objets à base de matériaux composites fonctionnels. D'un point de vue plus applicatif, il s'agit d'accroître, grâce à la

caractérisation des propriétés électromagnétiques, le champ d'applications potentielles des technologies d'impression 3D filaire à la conception de dispositifs hyperfréquences.