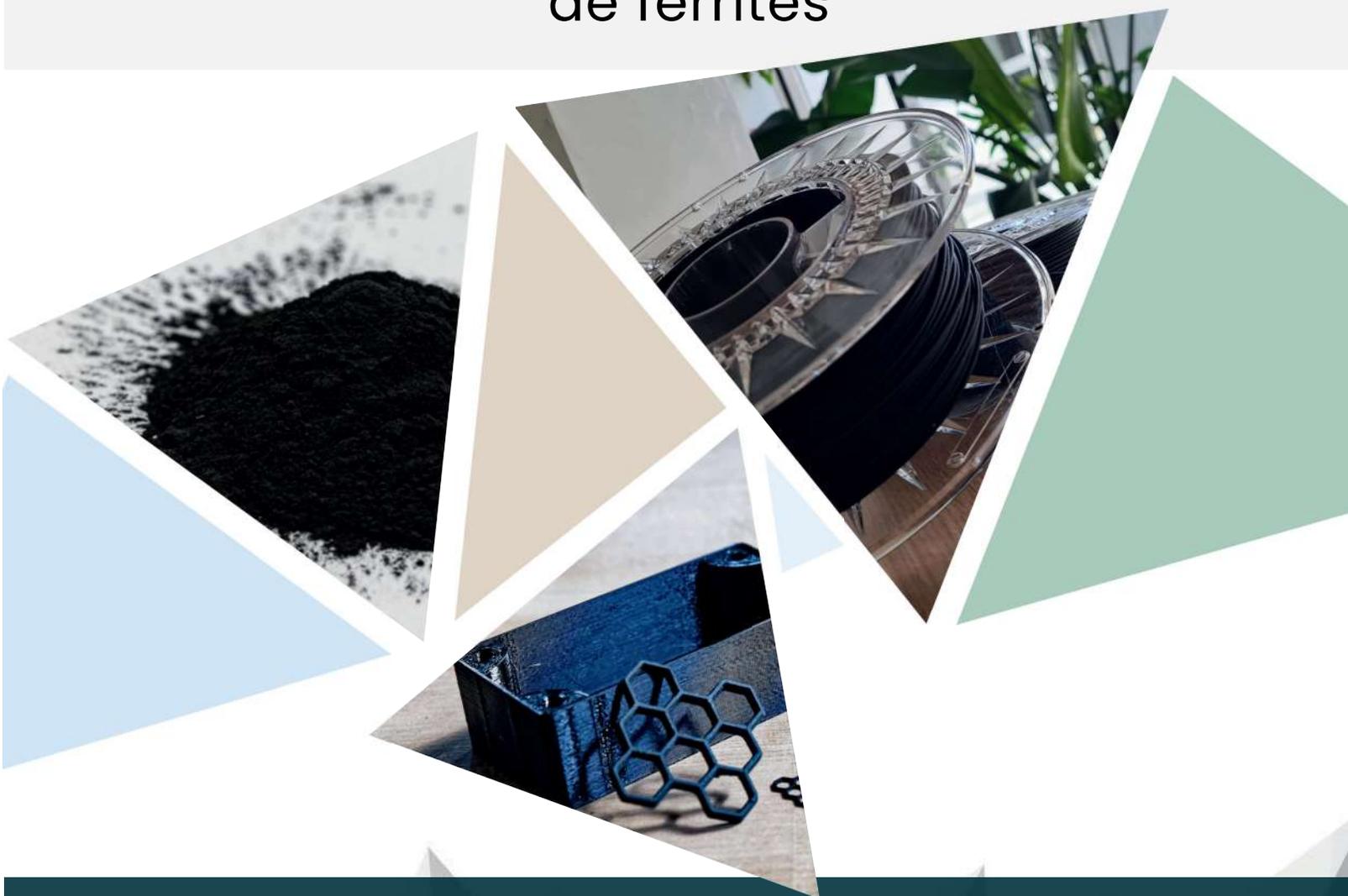


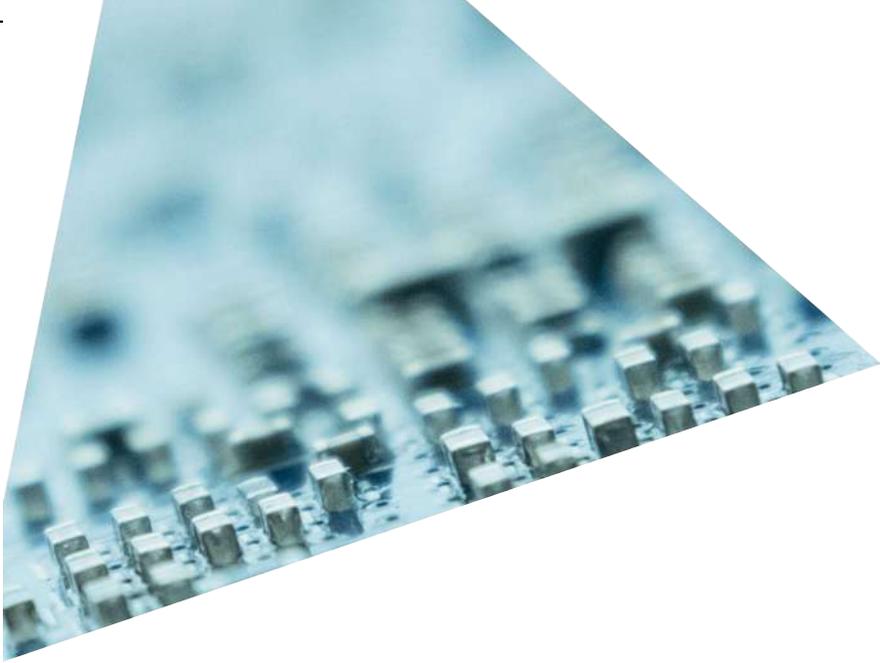
HYMAC'IN

Catalogue des produits

Filaments magnétiques et poudres de ferrites



Novembre 2024



Découvrez HYMAG'IN

HYMAG'IN produit et vend plusieurs gammes de **matériaux magnétiques innovants à base de ferrite**. Les produits sont des **poudres ultrafines ou des produits semi-finis pour la fabrication additive**, tels que des filaments magnétiques. Les produits HYMAG'IN sont destinés aux marchés de l'aérospatial, de la défense, de l'automobile et des télécommunications.

Les ferrites sont largement utilisés dans les systèmes électroniques. Ce sont des matériaux magnétiques essentiels pour les composants passifs et les solutions de compatibilité électromagnétique (CEM). Les utilisateurs de ferrites sont cependant confrontés à de nombreux défis :

- **miniaturiser pour réduire le poids et le volume**
- **réduire leur impact environnemental et consommation énergétique**
- **sécuriser leur chaîne d'approvisionnement**

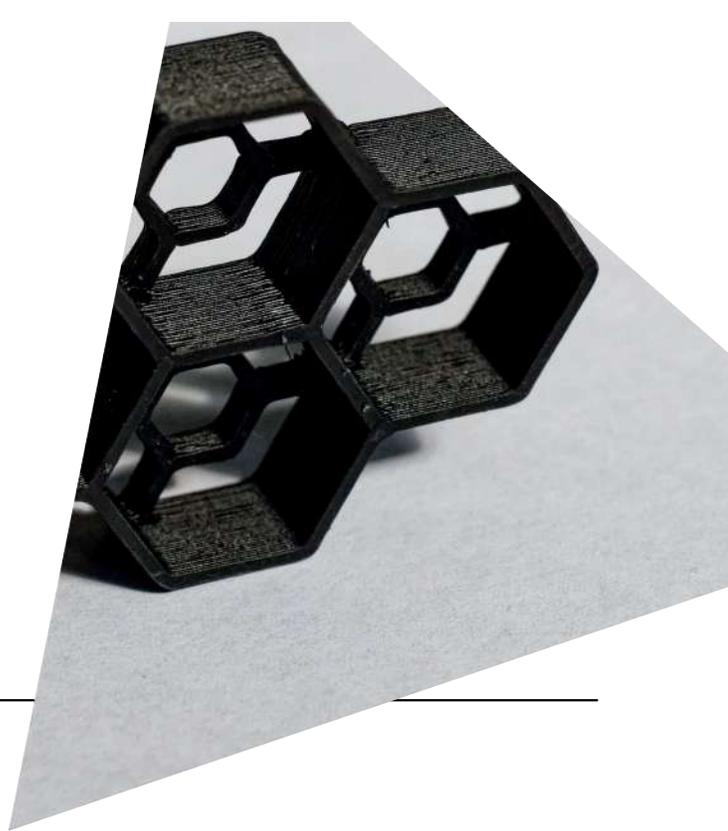
HYMAG'IN apporte une solution à ces besoins en produisant des ferrites 100 fois plus petits, à l'aide d'une **technologie unique, durable et peu énergivore, basée en Europe**.

FILAMAG[™] est une gamme de filaments conçus pour la fabrication additive de produits absorbant les ondes électromagnétiques.

NANOMAG est conçu pour la fabrication de matériaux absorbant les radiofréquences pour la CEM. Il peut également être utilisé pour produire des composants passifs pour les inducteurs, les transformateurs et les filtres dans la gamme des kHz - MHz.



Sommaire



➤ NANOMAG-MnZn

Page 4

NANOMAG-Fe ◀

Page 6

➤ FILAMAGTM

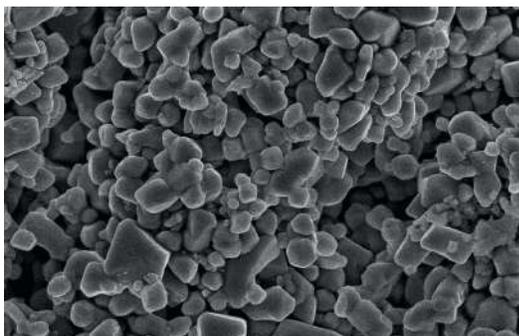
Page 8

Impression 3D ◀

Page 11

NANOMAG-MnZn

| Ses caractéristiques



Photographie MEB

NANOMAG-MnZn est une poudre de ferrite Manganèse-Zinc (Mn,Zn)Fe₂O₄.

La qualité des produits NANOMAG est caractérisée par microscopie électronique (MEB-EDS) et diffraction des rayons X (DRX).

Densité		5 g/cm ³
Pureté		99.99 %
Granulométrie laser		2 µm (moy.)
Taille des particules (MEB)	D10	100 nm
	D50	200 nm
	D90	400 nm
Température de Curie		330 °C
Aimantation à saturation		78 emu/g
Fréquences d'utilisation		100 MHz à 5 GHz

La poudre NANOMAG-MnZn **s'incorpore facilement dans différents types de polymères et de silicones grâce à sa taille nanométrique**. Ainsi, les feuilles, joints, revêtements élaborés à partir de composites chargés en NANOMAG-MnZn sont d'excellents absorbants pour la CEM dans les fréquences allant de 100 MHz à 5 GHz.

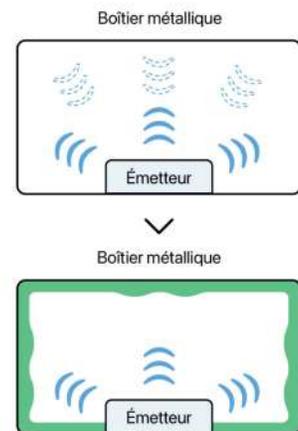
NANOMAG-MnZn peut également être fritté pour réaliser des pièces denses de ferrites à faibles pertes assurant des fonctions de conversion d'énergie ou de filtrage des signaux dans la gamme des kHz - MHz.

Pourquoi choisir NANOMAG-MnZn ?

ABSORBANTS DANS LES BOITIERS

Des feuilles absorbantes adhésives à base de NANOMAG-Fe en dispersion dans du silicone sont positionnées à l'intérieur des boîtiers métalliques protégeant les composants de la carte électronique.

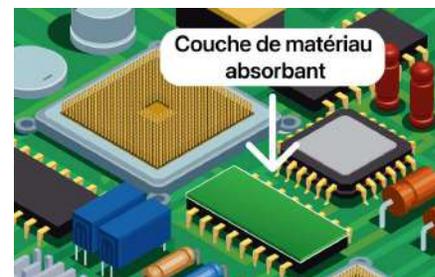
Ces feuilles **absorbent l'énergie afin d'atténuer les interférences dues à la réflexion des ondes au sein de la cavité résonante.**



ABSORBANTS SUR COMPOSANTS POUR LA CEM

Des plaques absorbantes composites chargées avec NANOMAG-MnZn sont déposées sur le composant perturbateur.

En CEM, ces plaques traitent le problème de rayonnement électromagnétique RF à la source.



Leurs pertes magnétiques par absorption (μ'') et leur capacité à stocker le champ magnétique (μ') étant élevées, ces plaques **réduisent le bruit provoqué par le composant rayonnant.**

TORES POUR ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

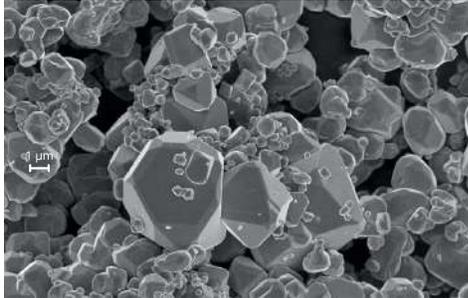


La mise en forme par frittage de NANOMAG-MnZn permet de réaliser des composants passifs magnétiques qu'on retrouve dans les inductances, les transformateurs et les convertisseurs.

Ces composants modifient les valeurs de tension et d'intensité des circuits d'alimentation dans des fréquences allant du kHz au MHz.

NANOMAG-Fe

| Ses caractéristiques

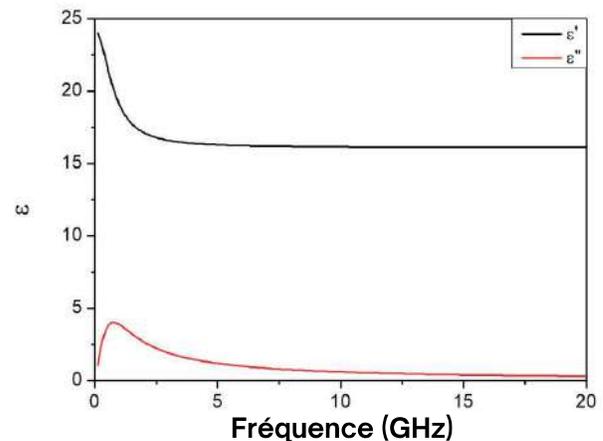
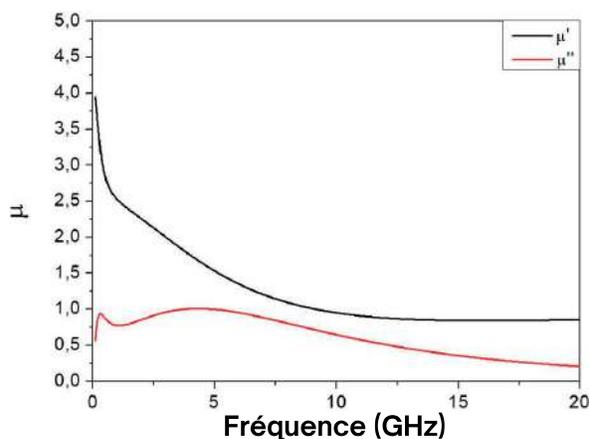


NANOMAG-Fe est une poudre d'oxyde de fer Fe_3O_4 .

La qualité des produits NANOMAG est caractérisée par microscopie électronique (MEB-EDS) et diffraction des rayons X (DRX).

Photographie MEB

Densité		5 g/cm ³
Pureté		99.99 %
Granulométrie laser		4,6 µm (moy.)
Taille des particules (MEB)	D10	240 nm
	D50	700 nm
	D90	1 600 nm
Température de Curie		580 °C
Aimantation à saturation		86 emu/g
Fréquences d'utilisation		1 à 20 GHz



Perméabilité et permittivité d'un composite chargé à 70% m (mesurées).

Pourquoi choisir NANOMAG-Fe ?

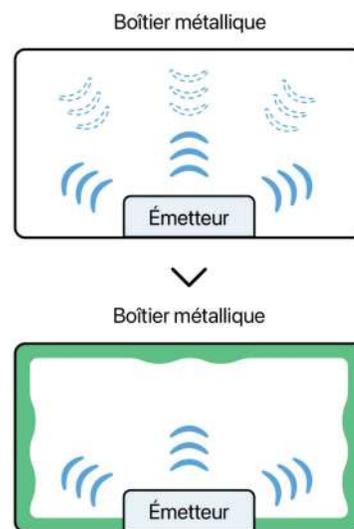
La poudre NANOMAG-Fe **s'incorpore facilement dans toutes sortes de polymères et de silicones** afin d'élaborer des matériaux composites absorbants électromagnétiques, tels que des feuilles fines, flexibles, facilement usinables. Ces composites permettent également de réaliser des joints de blindage, des mousses absorbantes, des peintures magnétiques, et autres produits.

Ci-dessous des exemples de cas d'usage en CEM après mise en forme de NANOMAG-Fe.

ABSORBANTS DANS LES BOÎTIERS

Des feuilles absorbantes adhésives à base de NANOMAG-Fe en dispersion dans du silicone sont positionnées à l'intérieur des boîtiers métalliques protégeant les composants de la carte électronique.

Ces feuilles **absorbent l'énergie afin d'atténuer les interférences dues à la réflexion des ondes au sein de la cavité résonante.**



JOINTS DE BLINDAGE



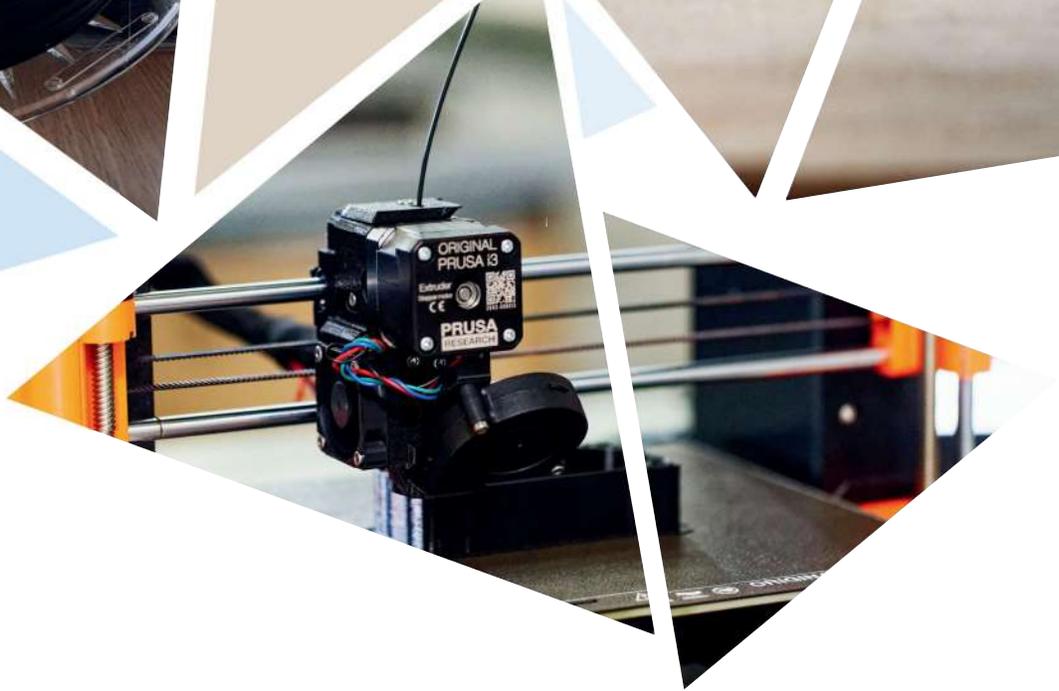
Joint CEM absorbant magnétique

Des joints en élastomère chargés avec NANOMAG-Fe sont utilisés au niveau des connectiques d'un boîtier métallique.

Cette solution est un complément au blindage métallique réalisé par le boîtier car **elle empêche les fuites d'énergie pouvant engendrer des perturbations à l'extérieur du système électronique.**

FILAMAG,TM

**solution 3D innovante
pour l'absorption RF**



FILAMAGTM

| Ses caractéristiques

FILAMAGTM est une gamme de filaments composés de **polymère chargé en poudre de nanoferrite magnétique NANOMAG**.

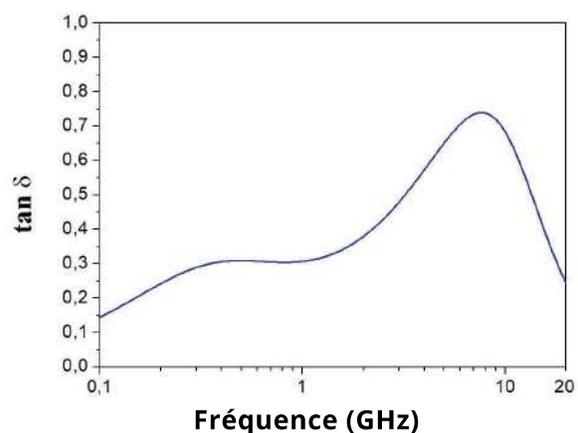
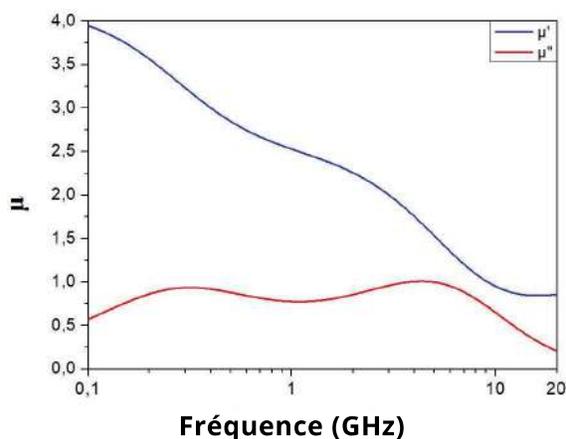
HYMAG'IN possède le savoir-faire pour maîtriser l'intégration de ces poudres dans différents types de matrices polymères rigides ou flexibles.

Les filaments magnétiques FILAMAGTM sont utilisables avec la technologie d'impression 3D standard Fused Deposition Modeling (FDM).



Propriétés d'impression	
Composition	NANOMAG-Fe Polymère flexible
Taux de charge possible	70% massique
Température d'extrusion	230 °C
Température de plateau	45 °C
Type de plateau	Texturé
Buse (recommandée)	0,6 - 1 mm
Diamètre	1,75 mm

Propriétés électromagnétiques	
Permittivité à 1 GHz	$\epsilon' = 19,00$; $\epsilon'' = 3,86$



Perméabilité (mesurée)

Tangente de perte magnétique (calculée)

FILAMAGTM

| Ses caractéristiques

Propriétés mécaniques (mesurées à 23°C = 73°F)		
Physique	Densité	2,8 g/cm
	Dureté ISO868	98 Shore A
Traction <i>Tests réalisés à 1mm/min</i> ISO527-2	Module de traction (Young)	559 MPa
	Contrainte maximale de rupture à la traction	11 MPa
	Déformation à contrainte maximale	9,2 %
Flexion (3 points) <i>Tests réalisés à 2mm/min</i> ISO178	Module de flexion	467 MPa
	Contrainte maximale d'élasticité à la flexion	14,9 MPa
	Déformation à contrainte maximale	8,6 %
Cisaillement <i>Tests réalisés à 2mm/min</i> ISO14129	Module de cisaillement plan G ¹²	294 MPa
	Contrainte en cisaillement à rupture	4,4 MPa

Propriétés thermiques		
ISO75	HDT-B (0,45 MPa)	44°C

Propriétés des éprouvettes imprimées avec FILAMAG-F, successivement à -45 et +45° par couche

Impression 3D avec FILAMAGTM

Les designs 3D sont des pièces imprimées à partir du filament magnétique FILAMAG-F, conçu pour absorber les ondes électromagnétiques. Grâce à cette technologie, il est possible de créer des structures sur mesure, adaptables aux besoins spécifiques des applications dans les GHz.

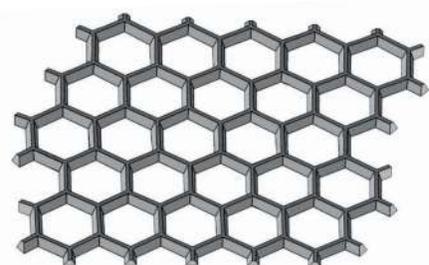
PLAQUE PLEINE 3D POUR BANDE ÉTROITE GHZ

Le choix d'une charge de ferrite aux caractéristiques électromagnétiques appropriées et l'adaptation de l'épaisseur à la fréquence requise, sont des facteurs essentiels **pour une absorption optimale.**

Page 12



NID D'ABEILLE 3D POUR BANDE ÉTROITE GHZ



Dans la recherche d'une absorption efficace des ondes électromagnétiques, les formes personnalisées jouent un rôle crucial. **En personnalisant la conception de vos pièces 3D, HYMAG'IN cible l'absorption aux fréquences spécifiques de vos exigences CEM.**

Page 14

STRUCTURE CARRÉE 3D MULTI-ÉCHELLE POUR LARGE BANDE GHZ

HYMAG'IN a développé une forme permettant d'étendre la gamme de fréquences. Avec FILAMAG-F, **cette structure carrée multi-échelle absorbe les ondes électromagnétiques à large bande dans les GHz.**



Page 16

BOÎTIER MAGNÉTIQUE 3D POUR LES RÉSONANCES DE CAVITÉ



HYMAG'IN propose des boîtiers magnétiques en 3D destinés à la protection des cartes électroniques. Ces boîtiers complètent les boîtiers métalliques de blindage en empêchant la réflexion des ondes et les résonances de cavité.

Informations à venir

DESIGNS 3D - Bande étroite GHz : Feuille

La feuille pleine est un design simple mais efficace pour les applications nécessitant une absorption des ondes électromagnétiques sur une fréquence spécifique **entre 1 et 20 GHz**. La flexibilité et les dimensions ajustables de la plaque pleine la positionnent comme une solution optimale pour cibler une fréquence donnée selon son épaisseur et pour une intégration facile à la surface ou à l'intérieur du système. Ce produit est utilisé dans **les télécommunications, l'électronique ou l'industrie militaire**.



Forme : Rectangulaire ou carrée, pleine

Dimensions :

Épaisseur ajustée selon la fréquence ciblée.

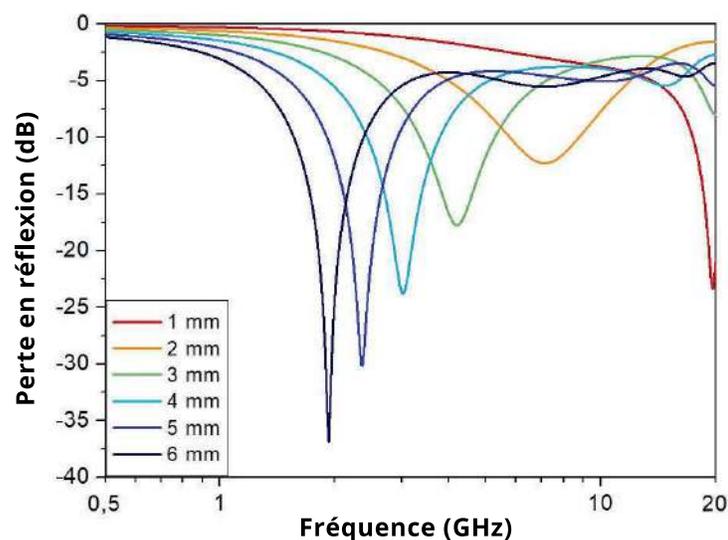
Longueur et largeur ajustable selon les spécifications.

Ex : 150x150x4mm³ pour 3 GHz

Fréquences d'utilisation :

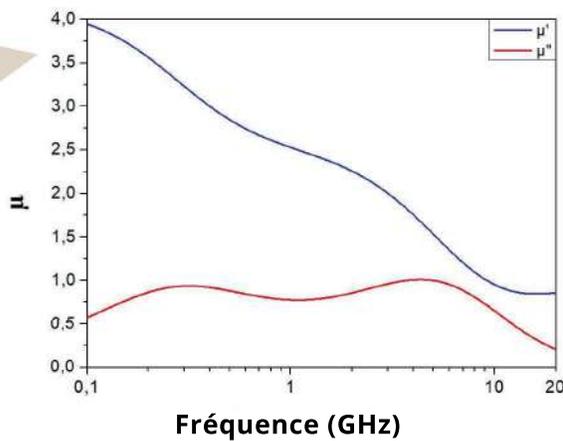
Ajustable selon l'épaisseur,
entre 1 et 20 GHz

Le graphique ci-dessous illustre l'influence des variations d'épaisseur sur les pertes en réflexion de la feuille. Des simulations sont nécessaires pour sélectionner l'épaisseur optimale **en fonction de la fréquence requise, des performances et des dimensions du système**.

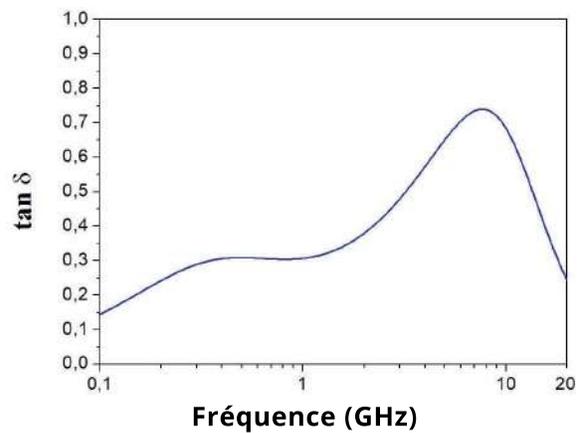


Quand l'épaisseur est égale au quart de la longueur d'onde, alors un phénomène de résonance se produit, permettant l'absorption (pertes en réflexion) et **l'apparition d'interférences destructives**.

Propriétés électromagnétiques*	
Permittivité à 1 GHz	$\epsilon' = 19,00 ; \epsilon'' = 3,86$



Perméabilité (mesurée)



Tangente de perte magnétique (calculée)

Pourquoi choisir la plaque pleine imprimée en 3D avec FILAMAG[®]-F ?

- Souple : Facilement intégrable et déposable sur une surface
- Dimensions adaptables
- Pas de nécessité d'usinage, de découpage

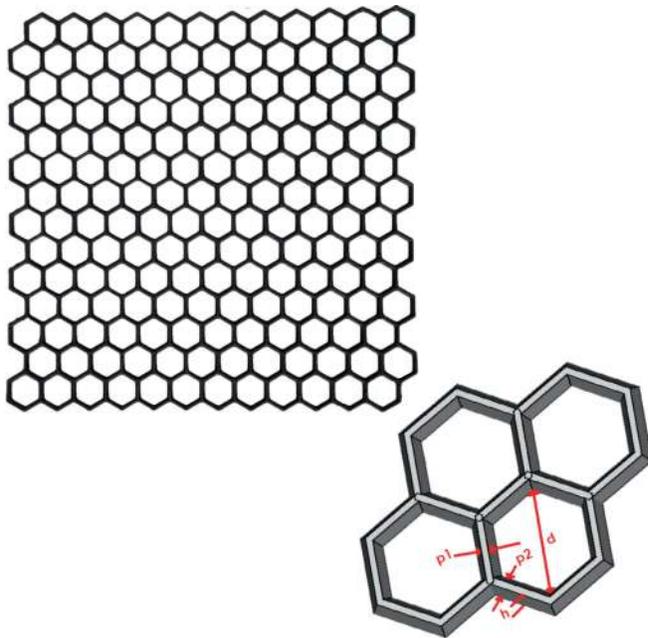
Exemple d'utilisation : dans le boîtier métallique de blindage électronique d'un appareil de mesure des consommations énergétiques d'une maison.

La conductivité du métal entraîne la réflexion des ondes sur la surface du boîtier, ce qui interfère avec les composants électroniques dans la cavité et perturbe le fonctionnement de l'appareil.

La plaque peut être placée dans le boîtier pour **empêcher la réflexion des ondes** et au niveau des jointures pour **diminuer les fuites d'énergie**.

DESIGN 3D - Bande étroite GHz : nid d'abeille

La structure nid d'abeille est optimisée pour l'absorption d'ondes électromagnétiques **sur une fréquence ciblée**. Ce design en forme d'alvéole permet de maximiser l'efficacité d'absorption tout en conservant **un poids léger** et une structure mécanique **robuste**. En ajustant les dimensions (diamètre des cellules, épaisseur de paroi, angle d'inclinaison), il est possible de calibrer l'absorption sur une fréquence spécifique dans la gamme des GHz.



Forme : Structure alvéolaire

Dimensions :

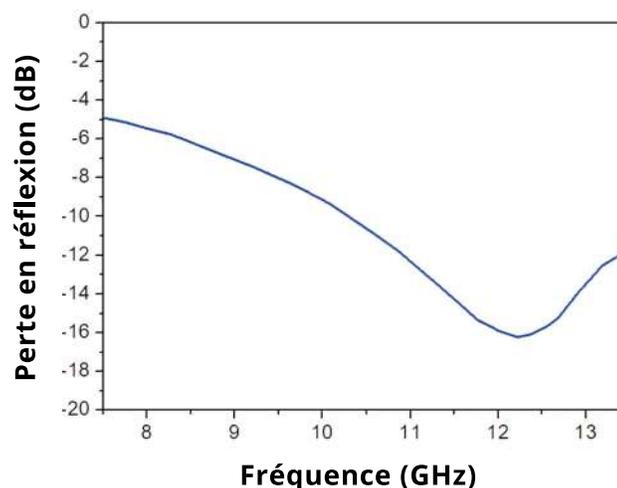
Pour 10 GHz : pièce de 200x200mm² et motifs de dimensions $h = 3$ mm, $p1 = 1$ mm, $p2 = 3$ mm et $d = 15$ mm

Dimensions ajustables pour cibler d'autres fréquences

Fréquences d'utilisation :

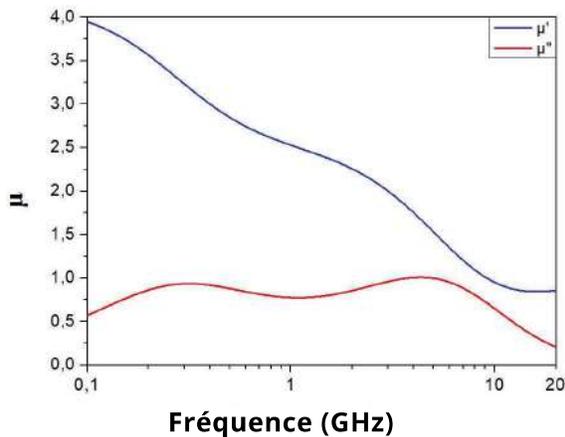
Ajustable sur demande et selon les spécifications comme les dimensions du système

Ci-dessous, les résultats du nid d'abeille 3D conçu pour absorber dans la douzaine de GHz : des pertes de réflexion significatives de **-16 dB autour de 12 GHz** et **un poids trois fois inférieur** à celui d'une feuille 3D de même épaisseur.

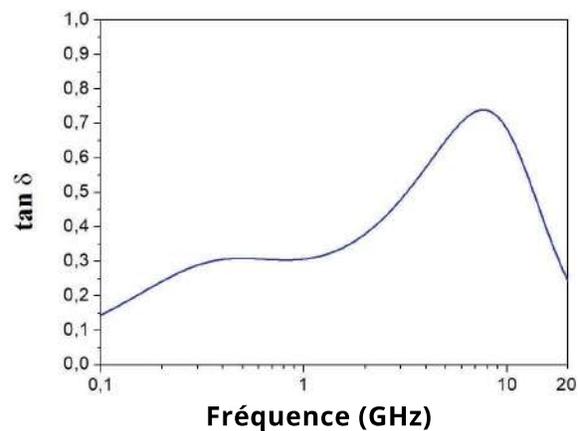


Cette architecture montre une résonance lorsque les dimensions des cellules correspondent au quart de la longueur d'onde ciblée. Cette onde va se réfléchir à de multiples reprises dans les cellules engendrant une **absorption progressive de l'onde**, facilitée par les parois à forme trapézoïdale (chanfrein) **augmentant l'adaptation d'impédance** pour une pénétration plus facile dans le matériau.

Propriétés électromagnétiques*	
Permittivité à 1 GHz	$\epsilon' = 19,00 ; \epsilon'' = 3,86$



Perméabilité (mesurée).



Tangente de perte magnétique (calculée).

Des développements sont en cours pour élargir la bande d'absorption à partir de la structure en nid d'abeille. Cette nouvelle architecture se décompose en alvéoles multi-échelles. Avec cette mise en forme, **plusieurs résonances apparaîtront pour permettre des pics d'absorption à plusieurs fréquences.**



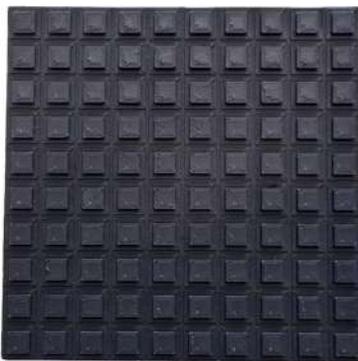
Pourquoi choisir le nid d'abeille imprimé en 3D avec FILAMAG[®]-F ?

- Léger : ratio performances/poids amélioré
- Matériau flexible
- Sur-mesure, adaptable

Exemple d'utilisation : Ce nid d'abeille est utilisé par des fabricants de dispositifs et/ou des utilisateurs dont l'objectif est de diminuer la réflexion des ondes électromagnétiques à la surface de ces systèmes. C'est notamment le cas pour des équipements que l'on cherche à **rendre indétectables par diminution de leur surface équivalente radar (SER).**

DESIGNS 3D - Large bande GHz : carrés multi-échelle

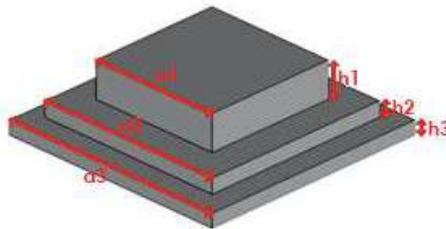
La structure carrée à motifs répétés est conçue pour **élargir la plage de fréquences d'absorption** des ondes électromagnétiques. Grâce à son design modulaire, elle est particulièrement adaptée aux environnements où des performances large bande GHz sont requises, tout en permettant **une intégration fonctionnelle dans les dispositifs**.



Forme : Structure carrée avec motifs géométriques carrés répétitifs

Dimensions :

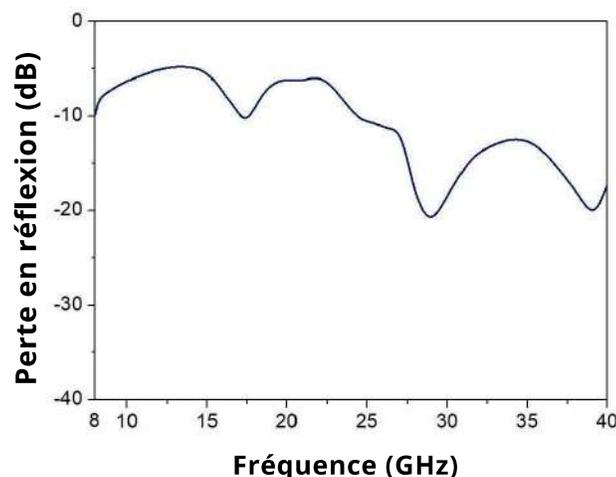
Ex : $200 \times 200 \times 3,7 \text{ mm}^3$ et motifs
 $h1 = 2,4 \text{ mm}$; $h2 = 0,8 \text{ mm}$; $h3 = 0,5 \text{ mm}$
et $a1 = 12 \text{ mm}$; $a2 = 18 \text{ mm}$; $a3 = 20 \text{ mm}$



Fréquences d'utilisation :

Design caractérisé de 8 à 40 GHz

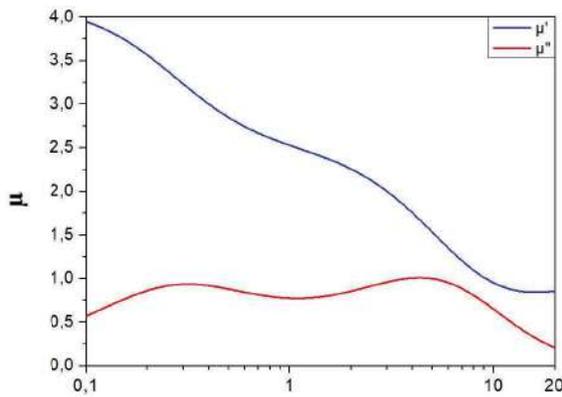
Cette absorption à large bande dans les GHz est importante dans divers domaines, tels que **les chambres anéchoïques, la réduction de la section transversale des radars, les communications sans fil et les antennes**.



Perte en réflexion du carré multicouche FILAMAG-F 3D (mesurée)

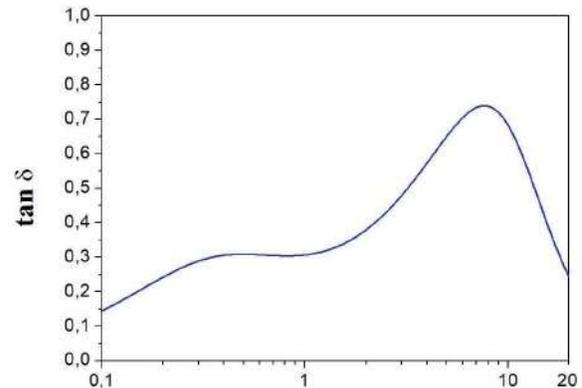
Les phénomènes d'absorption sont ici induits par le dimensionnement des motifs. Dans la partie basse de la gamme de fréquence absorbée, une résonance apparaît lorsque les dimensions des motifs carrés correspondent au quart de la longueur d'onde. Sur des fréquences plus hautes, ce sont des phénomènes de diffraction qui permettent la pénétration de l'onde dans le matériau.

Propriétés électromagnétiques*	
Permittivité à 1 GHz	$\epsilon' = 19,00 ; \epsilon'' = 3,86$



Fréquence (GHz)

Perméabilité (mesurée).



Fréquence (GHz)

Tangente de perte magnétique (calculée).

Des essais R&D sur ce design sont en cours dans l'objectif d'**élargir la gamme de fréquence** via le développement d'un nouveau filament d'impression. L'**augmentation du pic de pertes en réflexion** représente également un enjeu majeur qui passe ici par la recherche de nouveaux designs large bande encore plus performants.

Pourquoi choisir la structure carrée imprimée en 3D avec FILAMAG-FTM ?

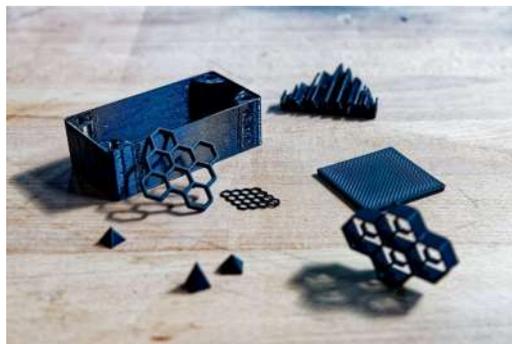
- Mécaniquement robuste
- Gain de volume

Exemple d'utilisation : Ces structures à motifs carrés répétés peuvent être utilisés dans **les chambres anéchoïques** pour remplacer les absorbants pyramidaux GHz. En effet, ces designs plus compactes que les pyramides apportent un gain d'espace.

Pourquoi choisir FILAMAGTM ?

Sélection de la géométrie en fonction de la complexité de l'espace de votre cas d'usage :

Les filaments FILAMAGTM permettent d'imprimer des pièces absorbantes aussi précisément que nécessaire pour correspondre à la géométrie de vos systèmes électroniques. La structure des matériaux imprimés, micro-pyramides ou nids d'abeilles et leurs dimensions sont calibrées avec précision lors de la mise en place de l'impression 3D.



Optimisation des performances et allègement de vos absorbants :

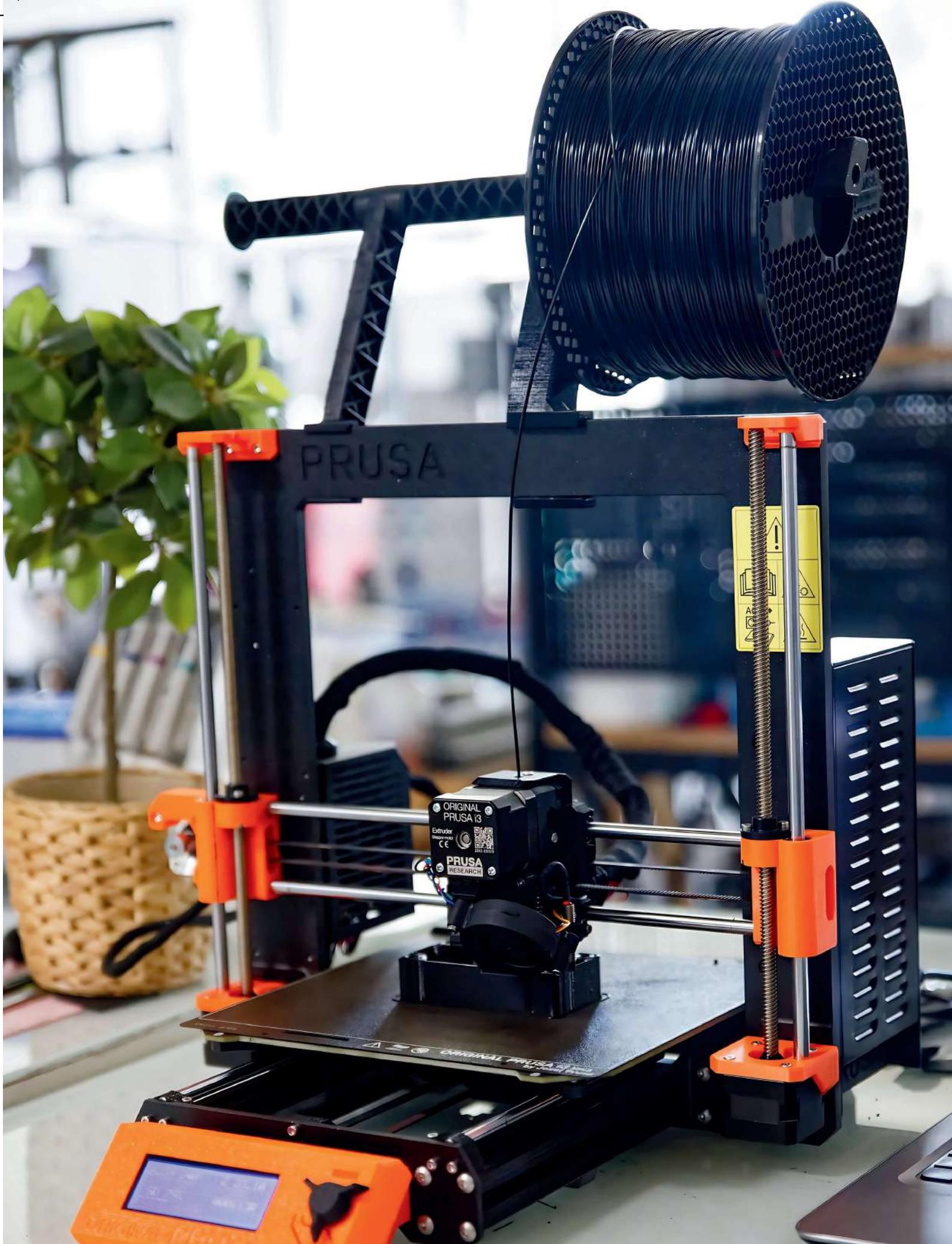
Grâce à une relation liant la géométrie de l'absorbant et son interaction avec les ondes électromagnétiques, la conception d'absorbants imprimés en 3D avec FILAMAGTM améliore considérablement leurs performances tout en allégeant leur structure.

Adaptation des paramètres en fonction des propriétés mécaniques souhaitées :

La matrice choisie pour le filament et le taux de chargement de la poudre NANOMAG ont un impact direct sur les propriétés mécaniques finales de la pièce imprimée. HYMAG'IN est en mesure d'adapter ces paramètres en fonction des besoins de l'utilisateur.



FILAMAG-FTM se distingue des autres filaments par sa flexibilité mécanique. Ils sont utilisés pour imprimer des produits absorbants qui nécessitent une flexibilité pour l'intégration dans le système et pour l'utilisation sous contrainte mécanique.



PRUSA

ORIGINAL
PRUSA I3
Extruder
design: michal
CE
PRUSA
RESEARCH



PRUSA RESEARCH



CONTACTEZ-NOUS

FERRITES ET AUTRES PRODUITS SUR-MESURE

Vous souhaitez explorer de nouvelles applications et utilisations des ferrites ?
Vous recherchez de nouvelles formulations de matériaux ferrites ?
Avez-vous des exigences concernant les propriétés des filaments ?

Nos experts sont impatients d'échanger avec vous sur vos besoins :

- **Exploration de nouvelles formulations de ferrites ;**
- **Développement de matériaux composites plus flexibles, plus performants ou de conception 3D spécifique ;**
- **Caractérisation de vos produits en termes de propriétés chimiques, magnétiques et électromagnétiques ;**
- **Étude de nouvelles applications pour les matériaux magnétiques.**

BESOIN DE PLUS D'INFORMATIONS ?
CLIQUEZ ICI POUR NOUS CONTACTER

► Département commercial

Lisa-Marie POUILLY

lisa-marie.pouilly@hymagin.com

Arthur MICHEL

arthur.michel@hymagin.com

► contact@hymagin.com
+33 (0)4 57 04 11 91



Crédits photo :

Pinet Photo