

## CARACTÉRISATION DE L'ATTÉNUATION RADIOFRÉQUENCE DE MATÉRIAUX ISOLANTS NATURELS DU BÂTIMENT

*Pascal XAVIER<sup>1</sup>. André-Marc BELLI-RIZ<sup>2</sup>. Jean-Yves FRAU<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>IMEP-LAHC, Minatec – INPG, 3 Parvis Louis Néel, BP 257, 38016 Grenoble Cedex 1 – [pascal.xavier@ujf-grenoble.fr](mailto:pascal.xavier@ujf-grenoble.fr)*

*<sup>2</sup>Cabinet d'architecte DPLG « Traits d'Union », 14 rue des Fenouillères, 38180 Seyssins, France – [belliriz@wanadoo.fr](mailto:belliriz@wanadoo.fr)*

*<sup>3</sup>IUT1, Université Joseph FOURIER, BP 67, 38402 St Martin d'Heres Cedex – [jean-yves.frau@ujf-grenoble.fr](mailto:jean-yves.frau@ujf-grenoble.fr)*

### 1. INTRODUCTION

La prise de conscience de la sauvegarde de l'environnement et du développement durable stimule de nombreuses recherches technologiques. Dans ce contexte, dans le domaine du bâtiment, des matériaux sont proposés pour leurs vertus écologiques, en particulier ceux servant à l'isolation phonique et thermique des murs, des toitures et des planchers. Dans certains cas, il ne s'agit pas de matériaux nouveaux mais de matériaux ancestraux redécouverts récemment.

Parallèlement, le débat scientifique sur la nocivité des ondes électromagnétiques est riche et le principe de précaution incite de nombreux citoyens à s'informer sur les propriétés d'atténuation de ces ondes par les matériaux constituant les bâtiments [1]. Le béton, le bois brut et le plâtre ont été relativement bien étudiés au cours des dernières décennies sur le plan de leurs propriétés électromagnétiques [2-3]. De nombreuses équipes de recherche travaillent également au calcul de la propagation et de la répartition spatiale des ondes électromagnétiques provenant de sources extérieures ou intérieures aux bâtiments [4-5]. Ces calculs numériques se basent sur des données qui ne paraissent pas toujours suffisamment exhaustives.

Nous avons donc réalisé à température ambiante une spectroscopie d'impédance large bande d'échantillons de matériaux écologiques (laine de mouton, cellulose, chanvre, liège, fibres de bois) afin de déterminer leurs propriétés électromagnétiques.<sup>1</sup>

### 2. LES ISOLANTS ÉCOLOGIQUES

Dans le secteur du bâtiment, les préoccupations environnementales se manifestent notamment par la mise sur le marché de produits et matériaux de construction plus écologiques que ceux utilisés couramment [6]. En matière d'isolation thermique rapportée, les produits « conventionnels », laines minérales (laine de verre, laine de roche) ou matériaux d'origine synthétiques (polystyrène expansé PSE, polyuréthane), sont concurrencés par de nombreux isolants écologiques dont certains sont disponibles dans les grandes surfaces de bricolage.

Ceux-ci peuvent être classés selon leur origine :

- Isolants d'origine végétale : la fibre de bois est obtenue à partir des chutes de scierie ou d'arbres de qualité secondaire ; la ouate de cellulose est composée de flocons agglomérés de vieux papiers déchiquetés ou de boues papetières ; le liège est réduit en granulés puis expansé à haute température à la vapeur ; la laine de chanvre et laine de lin sont fabriquées à partir des fibres de la plante, la chènevotte étant issue du bois de la tige du chanvre.
- Isolants d'origine animale comme la laine de mouton.
- Isolants mixtes.

En définitive, les qualités écologiques de tous ces matériaux varient évidemment suivant les produits, mais tous affichent un écobilan nettement plus satisfaisant que leurs cousins « conventionnels » : leur fabrication nécessite relativement peu d'énergie primaire non renouvelable (quatre fois moins que la laine de verre et le PSE pour la laine de mouton et la ouate de cellulose en vrac), exception faite des panneaux denses en fibre de bois ; du point de vue du bilan CO<sub>2</sub>, ces produits sont neutres (donc pas ou peu contributeurs à l'effet de serre) voire stockeurs de CO<sub>2</sub> (fibre végétale dense).

---

<sup>1</sup> Nous remercions MM Laurent AVENAS et Damien BRIGNON, étudiants en Licence Professionnelle à l'IUT1 de Grenoble, qui ont réalisé une partie de ce travail dans le cadre d'un projet tutoré. Nous remercions également les magasins « construire au naturel » de Veurey-Voroize (38) et « maison nature » d'Albertville (73) pour leurs échantillons.

Les qualités techniques de ces isolants sont indéniables :

- Isolation thermique : à épaisseur égale, ces produits ont une résistance thermique meilleure que la laine de verre, et comparable voire supérieure à la laine de roche et au PSE ; ils ont un meilleur temps de déphasage dans la transmission de la chaleur (améliore le confort thermique d'été des locaux).
- Humidité : ces matériaux ont une meilleure capacité hygroscopique (capacité à absorber et à restituer la vapeur d'eau) et une meilleure résistance à la diffusion de la vapeur d'eau.

D'autres critères peuvent être intégrés, qui confirment l'intérêt écologique de ces produits : épuisement des ressources (matière première de récupération et/ou renouvelable), fin de vie des matériaux (facilité de recyclage, valorisation énergétique), effets sanitaires (réduction des risques d'émanations toxiques en cas d'incendie, d'affections dermatologiques et respiratoires ...).

A quelques exceptions près, ces produits offrent enfin une meilleure durabilité que les laines minérales. Comme pour les isolants « conventionnels », les produits se présentent sous forme de panneaux de différentes densités et de rouleaux, dans de nombreuses épaisseurs (jusqu'à 240 mm) ou en vrac (à déverser ou à insuffler). Ainsi, tous les ouvrages courants peuvent être traités avec ce type d'isolant : isolation sous dalle ou chape, isolation rapportée ou incorporée en toiture, plancher, cloisons, murs, y compris comme support d'enduit hydraulique en isolation extérieure.

### 3. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Deux cellules de test universelles ont été conçues sous forme de ligne microruban dont les dimensions ont été optimisées avec le logiciel ADS afin de répondre au mieux à différents impératifs : réduction des effets de bords pour garantir une topologie des lignes de champ électrique (figure 1), prise en compte de l'épaisseur standard des panneaux des matériaux (figure 2). Compte tenu de ces dimensions standards et de l'ordre de grandeur des constantes diélectriques attendues, notre gamme d'étude s'est limitée à la bande 40 MHz – 400 MHz pour ne pas être gêné par la présence des modes d'ordres supérieurs non TEM. La méthode de mesure par sonde coaxiale commerciale dédiée à la caractérisation des matériaux n'a pas été choisie pour cette étude car, dans ce cas, les lignes de champ ne sont pas assez parallèles pour permettre l'analyse des propriétés électromagnétiques suivant les trois axes de l'espace.

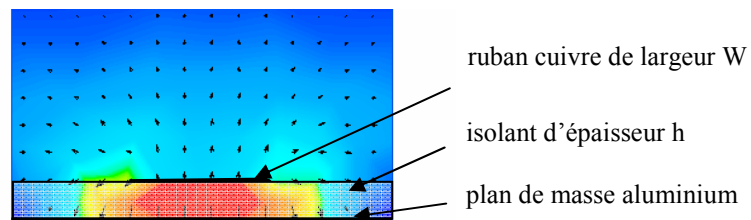


Figure 1 : image du champ électrique dans la structure microruban (en coupe).



Figure 2 : cellule de test chargée avec de la ouate de cellulose.

La mesure des paramètres S de ces cellules chargées avec des substrats constitués des matériaux à tester a été réalisée sur un analyseur vectoriel de réseau HP 8753C avec un calibrage OSL classique. Les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  de propagation de la ligne microruban dans sa partie centrale ont été déduits après application de la méthode des deux lignes, une cellule étant en effet plus courte que l'autre de 18 mm.

La constante diélectrique effective de la ligne a été calculée en écrivant :  $\epsilon_{eff} = \left( \frac{\beta \cdot c}{2\pi f} \right)^2$

Connaissant les dimensions de cette ligne (largeur  $W$ , hauteur  $h$ ), la constante diélectrique du matériau isolant a été déduite en utilisant l'outil « LineCalc » d'ADS ou les formules usuelles d'Hammerstadt [7]. Avec ce même outil, il a été constaté que l'atténuation linéique due aux conducteurs restait dans tous les cas inférieure à  $3 \cdot 10^{-4}$  Np.m<sup>-1</sup> en tenant compte des contributions liées au ruban et au plan de masse. Ceci a permis de déduire l'atténuation linéique  $\alpha_d$  due au matériau isolant et, à la suite, son angle de perte.

#### 4. RÉSULTATS

La figure 3 présente tout d'abord les résultats obtenus pour des lignes à vide d'épaisseur  $h$  différentes (ceci afin de vérifier que nous retrouvions bien la constante diélectrique de l'air  $\epsilon_r = 1$ ) et pour une plaque de plâtre d'épaisseur 12 mm. La valeur obtenue pour le plâtre de 2,75 correspond aux données disponibles dans la littérature [5] où l'on trouve des valeurs s'échelonnant de 2,25 à 6 suivant la finesse des grains et la porosité. Les mesures dans l'air permettent également d'estimer la précision sur  $\epsilon_r$  à  $\pm 0,1$ .

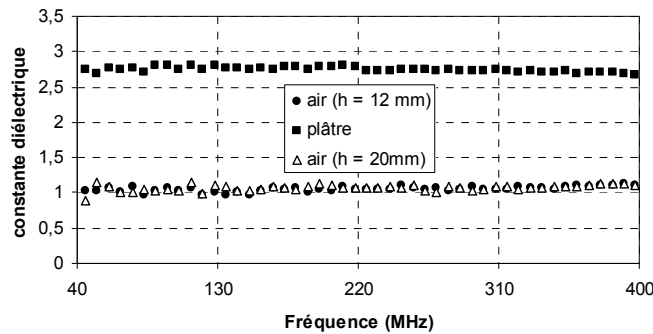


Figure 3 : constantes diélectriques mesurées à vide et avec du plâtre.

Les résultats de mesure de constante diélectrique obtenus pour les divers matériaux isolants écologiques secs à notre disposition sont indiqués dans le tableau 1 et un exemple de tracé est donné figure 4. Il n'est pas surprenant qu'elles soient toutes proches de l'unité car ces matériaux renferment beaucoup d'air. La valeur obtenue pour le liège est en accord avec celle d'une autre étude [8]. Pour la laine de mouton, il est à noter que le constante diélectrique est identique que les fibres soient orientées parallèlement au ruban ou perpendiculairement.

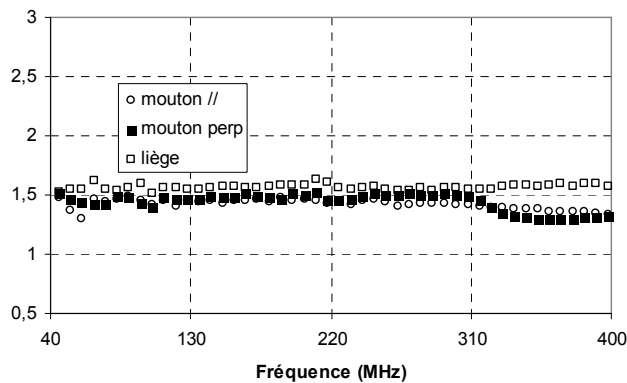


Figure 4 : exemples de mesures de constantes diélectriques de divers matériaux écologiques.

Matériau	Liège	Laine de mouton (parallèle)	Laine de mouton (perpendiculaire)	Fibres de bois	Cellulose	Chanvre
$\epsilon_r$	1,6	1,4	1,4	1,7	1,5	1,4

Tableau 1 : constantes diélectriques des isolants écologiques secs entre 40 et 400 MHz

La figure 5 présente enfin les atténuations aux ondes électromagnétiques obtenues pour des échantillons secs et humides. La majeure partie de nos échantillons présente une constante d'atténuation  $\alpha_d$  à la limite de résolution de notre expérience (entre 0,001 et 0,1 Np.m<sup>-1</sup>) : c'est le cas du liège, de la ouate de cellulose et de la laine de mouton.

Une plaque d'isolant « conventionnel » en mousse de polyuréthane expansé recouverte d'une feuille d'aluminium agissant comme écran de Faraday a été également testée comme référence. Du fait de ses propriétés hygroscopiques remarquables (jusqu'à 15% de son poids), le chanvre présente une forte atténuation lorsqu'il est chargé d'humidité (ici à 0,6%). On observe également dans ce cas une augmentation de  $\alpha_d$  pour la laine de mouton, ce qui n'est pas le cas du liège.

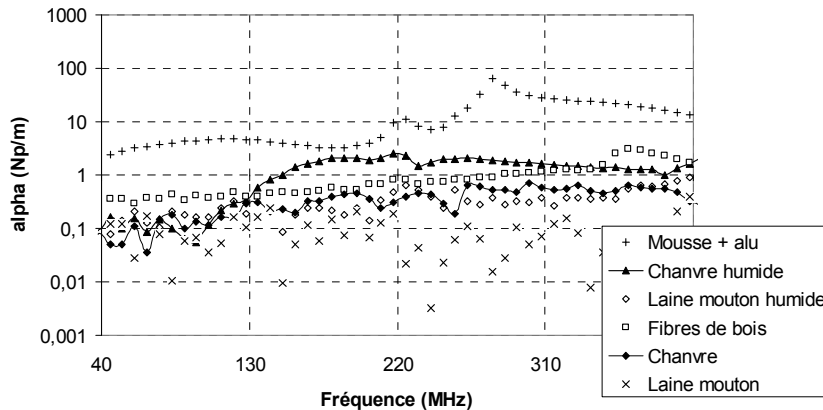


Figure 5 : atténuations mesurées pour les divers échantillons d'isolants.

La tangente de perte moyenne  $\tan\delta$  pour chacun des matériaux qui apparaissent dans le tableau 2 a été déduit des mesures d'atténuation grâce aux formules de passage indiquées dans [7].

Matériau	Liège	Laine de mouton	Fibres de bois	Cellulose	Chanvre
$\tan\delta$	$3.10^{-2}$	$2.10^{-2}$	$10^{-1}$	$6.10^{-3}$	$3.10^{-1}$

Tableau 2 : tangente de perte moyenne de nos isolants entre 40 et 400 MHz

Ces résultats sont conformes à certaines données de la littérature [5, 8, 9].

## 5. CONCLUSIONS

Dans la gamme de fréquences de 40 à 400 MHz, les matériaux isolants écologiques secs semblent ne pas présenter de fortes atténuations des ondes électromagnétiques (6% par cm au maximum), probablement parce qu'ils sont constitués d'un assemblage de grains ou de fibres et de beaucoup d'air (ce point étant confirmé par les mesures de constante diélectrique). Toutefois, dans un habitat un peu humide, on observe une augmentation substantielle de cette atténuation qui devient comparable à celle de certains isolants « conventionnels » aluminisés, ceci pour la laine de mouton et surtout le chanvre : cependant, il ne faut pas que cet environnement soit trop humide car, dans ces cas, l'isolation thermique se dégrade.

## 6. RÉFÉRENCES

- [1] *Champs Electromagnétiques & Qualité Environnement Bâtiment*, François Merinis, Mémoire de formation HQE, Ecole d'Architecture de Lyon (2008)
- [2] *Caractérisation électromagnétique des matériaux traités de génie civil dans la bande de fréquences 50 MHz – 13 GHz*, Mourad Adous, Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes, 05 Octobre 2006
- [3] *Electromagnetic Measurements of Green and RH 65 % Conditioned Wood Samples*, L. Tomppo, M. Tiitta et R. Lappalainen, Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances conference, Helsinki (2009)
- [4] *Management des champs électromagnétiques dans l'environnement*, A.Cortel-Carrasco, Y. Ould Isselmou, M.F. Wong et J. Wiart, Journée Scientifique CNFRS/URSI, Paris (2008)
- [5] *Simulation du canal de propagation indoor*, Cyril Humbert, Thèse de Doctorat de l'Université de Marne-la-Vallée, 12 décembre 2003
- [6] *Dossier "le guide des isolants"*, F. Hanier et N. Weiler, La Maison écologique, N°49, février-mars 2009, p. 21-33.
- [7] *Microstrip lines and slotlines*, KC Gupta, R Garg, IJ Bahl et P Bhartia, Editions Artech House (1996)
- [8] *Perturbations of the EM-field Meters Reading Caused by Flat Roof Security Wall*, A. Bahillo, J. Blas, S. Mazuelas, P. Fernandez, R.-M. Lorenzo et E.-J. Abril, World Academy of Science, Engineering and Technology Vol. 30, 2007, p. 193-198.
- [9] *Investigation of dielectric properties and electric resistance of some textile materials*, D.-D. Cerović, J.-R. Dojčilović, K.-A. Asanović, T.-A. Mihajlidi, D.-M. Popović et S.-B. Spasović, Fifth General Conference of the Balkan Physical Union, Vrnjačka Banja, Serbie-Montenegro (2003).