

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Modélisation acoustique des matériaux du bâtiment à base de particules végétales et présentant plusieurs échelles de porosité

Philippe Glé¹, Emmanuel Gourdon¹, Laurent Arnaud¹

¹ DGC B FRE CNRS 3237, ENTPE, 69518 Vaulx-en-Velin Cedex, philippe.gle@entpe.fr

Parallèlement à la croissance des exigences en isolation acoustique, on attend des matériaux utilisés dans le domaine du bâtiment, aussi bien au niveau de la rénovation que de la construction neuve, d'être de plus en plus performants et respectueux de l'environnement.

Les matériaux du bâtiment fabriqués à base de particules végétales tels que le béton de chanvre répondent parfaitement à ces nouvelles exigences. De plus, les matériaux à base de particules végétales ont la particularité d'être poreux, sièges de phénomènes de dissipation à la fois thermiques et visco-inertiels. Pour le béton de chanvre, on note même la présence de plusieurs réseaux de pores, à des échelles différentes. Ce dernier présente en effet au sein de ses particules des pores dont le diamètre est de l'ordre d'une dizaine de microns, et, entre les particules et selon le dosage en liant, des pores d'un diamètre de l'ordre de quelques millimètres. Enfin, dans le liant lui-même, il existe également des pores de diamètre de l'ordre du micromètre.

Les excellentes propriétés acoustiques de ce matériau ont été constatées expérimentalement, mais à ce jour, on ne sait encore pas modéliser ces dernières. Cette étude vise donc à modéliser les propriétés acoustiques de ces matériaux en prenant en compte les différentes échelles de porosité, pour ensuite être capable d'optimiser leur processus de fabrication, en fonction de leur utilisation.

Dans le cadre de cette étude, neuf formulations différentes de bétons de chanvre ont été fabriquées, constituées par les mélanges de trois liants à trois granulométries de particules. Les échantillons confectionnés ont alors été caractérisés par des mesures de porosité, résistivité, module d'incompressibilité, densité dynamique... En parallèle, les constituants de base (les particules de chènevotte ainsi que les liants) ont également été caractérisés. Il est alors montré que l'absorption acoustique de ces matériaux dépend grandement du choix de ses constituants et de sa mise en oeuvre. Les résultats de modélisations en simple et double porosité sont comparés aux mesures effectuées sur les échantillons.

1 Introduction

Dans le domaine du bâtiment, les attentes vis à vis des matériaux de construction ont bien évolué depuis les dernières décennies. Si auparavant, ces matériaux étaient convoités pour leurs seules propriétés mécaniques, on recherche aujourd'hui davantage des matériaux polyvalents, à la fois en termes de résistance mécanique, d'isolation thermique, d'absorption et d'isolation acoustique tout en étant respectueux de l'environnement. De tels matériaux, dits multifonctionnels, présentent l'avantage de gagner de l'espace par rapport à une mise en parallèle de plusieurs éléments chacun dévolu à une tâche. En outre, leur utilisation permet un gain de temps et donc d'argent lors de la construction d'un bâtiment.

C'est la raison pour laquelle il est nécessaire de se tourner vers de nouvelles catégories de matériaux, très intéressants de ces points de vue, tels que les matériaux recyclés. Ce premier groupe de matériaux présente d'ailleurs de bonnes propriétés acoustiques [1, 2]. Les matériaux d'origine naturelle, composés de particules végétales sont également des matériaux clés, dans la mesure où ils sont renouvelables et stockent du dioxyde de carbone sur de longues périodes (de 50 à 100 ans).

Certains d'entre eux ont déjà été l'objet d'études en acoustique, comme les matériaux à base de particules de bois [3], et à base de paille de riz [4].

Dans le cadre de cette étude, on s'intéresse plus particulièrement aux propriétés acoustiques des bétons de chanvre. Des études se sont déjà penchées sur ses caractéristiques mécaniques et thermiques et ont révélés d'un point de vue acoustique des performances très intéressantes [5, 6, 7]. Réalisés par le mélange de particules de chanvre avec un liant, les bétons de chanvre font partie de cette nouvelle génération de matériaux, multifonctionnelles et respectueux de l'environnement. A titre indicatif, 1 m² de béton de chanvre (formulation "Mur") avec une ossature bois stocke 35,5 kg de dioxyde de carbone sur une période de référence de 100 ans [8].

Une des caractéristiques principales du béton de chanvre, qui peut être étendue aux matériaux à base de particules végétales en général, et de posséder une porosité relativement élevée (jusque 80%). Cette dernière est répartie entre des réseaux poreux de différentes dimensions caractéristiques (variant entre 1 µm and 1 cm), situés au sein du liant, au sein des particules de

chanvre et entre ces dernières.

En acoustique, de nombreux modèles analytiques ont été mis au point afin de rendre compte des propriétés des matériaux poreux en absorption [9]. Nombre d'entre eux reposent sur l'hypothèse de squelette rigide, du modèle empirique à un paramètre [10], aux modèles semi-phénoménologique reposant sur cinq à huit paramètres [11, 12, 13, 14] qui décrivent avec plus de fidélité les phénomènes physiques qui régissent la dissipation de l'énergie portée par les ondes acoustiques au sein du milieu poreux.

Dans le cas particulier d'un matériau décrit par plusieurs dimensions caractéristiques de pores, les modélisations sont plus délicates. Pour les matériaux définis par deux tailles de pores (matériaux à double porosité), plusieurs approches ont été développées, avec d'une part celle de l'homogénéisation des structures périodiques (HSP) [15], et d'autre part celle de l'approche numérique [16]. Plus récemment, des auteurs se sont également intéressés au cas d'une distribution de taille de pores [17].

Une grande variété de béton de chanvre peut être fabriquée, en jouant sur le choix des constituants et sur leur mise en oeuvre. Cette diversité s'avère très intéressante dans la mesure où elle apporte aux bétons des microstructures qui peuvent être très différentes les unes des autres, et par conséquent, des propriétés acoustiques modulables. Dans l'optique d'optimiser ces propriétés, il est nécessaire de déterminer la nature des effets visco-inertiels et thermiques se produisant au sein de ces matériaux. Cela s'avère particulièrement difficile dans notre cas, dans la mesure où ces phénomènes dépendent des différents réseaux poreux ainsi que de leurs interconnexions.

Dans cette étude, les propriétés acoustiques d'une série de bétons de chanvre ont été mesurées, et les leviers d'action permettant d'agir sur ces propriétés ont été identifiés, des approches de caractérisation et de modélisation ont été adaptés aux spécificités du matériau.

2 Caractérisation du béton de chanvre et de ses constituants

2.1 Les particules de chanvre

Les particules de chanvre peuvent présenter des propriétés différentes selon leur origine, le mode de culture, la récolte et le traitement de la plante dont elles sont issues. Dans le cadre de cette étude, des particules de même origine mais de granulométries différentes ont été étudiées, et sont présentées Fig. 1. Les particules ont dans un premier temps été caractérisées seules, en vrac formant ce que l'on appelle la chènevotte.

Selon leur densité, les chènevottes peuvent présenter une porosité comprise entre 80 et 90%, répartie entre des



FIGURE 1 – Présentation des chènevottes étudiées

pores au sein des particules (porosité intra-particule) et des pores entre ces dernières (porosité inter-particule). Leur résistivité est de l'ordre de 2000 à 20000 $Nm^{-4}s$, ce qui correspond à une forte perméabilité. Pour finir, l'absorption acoustique de la chènevotte est très bonne, avec des coefficients supérieurs à 0,6 pour des fréquences supérieures à 300Hz (pour une épaisseur de 10cm).

2.2 Les liants

Les liants utilisés dans le domaine du bâtiment peuvent être de natures diverses, à base de chaux hydraulique, à base de chaux aérienne, ou encore à base de ciment. Des liants appartenant à ces différentes catégories ont été testés dans le cadre de notre étude.

La porosité des échantillons de liants fabriqués est située autour de 50%, leur résistivité s'avère très forte, de l'ordre de $3.10^6 Nm^{-4}s$. D'un point de vue acoustique, ces liants s'avèrent peu intéressants, étant denses et fermés en surface, et par conséquent très réfléchissants (voir Fig. 2).



FIGURE 2 – Exemple d'un échantillon de liant à base de chaux aérienne - Diamètre 10 cm

2.3 Les bétons de chanvre

Les bétons de chanvre ont des propriétés intermédiaires à celles de leurs constituants, avec, pour les échantillons testés, une porosité située entre 65 et 80%, ainsi qu'une résistivité variant entre 6000 et 100000 $Nm^{-4}s$. Les propriétés acoustiques de ces matériaux sont très intéressantes, car les échantillons testés ont des

coefficients d'absorption qui dépassent 0,5 sur une large gamme de fréquences, ce qui leur donne des propriétés plus intéressantes que de nombreux matériaux utilisés dans le domaine du bâtiment (voir Fig. 3).



FIGURE 3 – Un exemple de béton de chanvre réalisé à partir d'une chaux hydraulique - Diamètre 10 cm

3 Les leviers d'action identifiés

La caractérisation des chènevottes, liants et bétons de chanvre a permis de mettre en évidence l'existence de nombreux leviers contrôlant les propriétés acoustiques des bétons de chanvre.

3.1 Le choix des constituants

Le choix de la granulométrie des particules a un impact important sur les propriétés acoustiques de la chènevotte. En particulier, à poids égal, le chanvre en vrac constitué de particules de fine granulométrie s'avère plus poreux, plus résistant au passage à l'air, et plus absorbant d'un point de vue acoustique.

Pour ce qui est du liant, les résultats montrent des absorptions acoustiques sensiblement plus élevées dans le cas de bétons de chanvre fabriqués avec des liants à base de chaux.

3.2 La mise en oeuvre du matériau

Le compactage est également un paramètre influent, qui permet d'avoir un impact sur la porosité inter-particule du chanvre en vrac et du béton de chanvre, entraînant une variation de la résistivité ainsi que de l'absorption acoustique du matériau.

Pour terminer, la formulation du béton, et plus particulièrement les dosages en eau et en liant affectent les caractéristiques du béton de chanvre. En particulier, à quantité de chènevotte fixée, des dosages trop importants en eau ou en liant confèrent au béton un état de surface fermé, et donc une mauvaise absorption acoustique.

4 Modélisation

A partir des paramètres mesurés sur les échantillons, et à l'aide de relations d'inversion [18], les propriétés

des chènevottes, liants et bétons de chanvre ont pu être modélisées.

Des résultats très satisfaisants ont été obtenus, comme à titre d'exemple une chènevotte de granulométrie grossière faiblement compactée Fig. 4, et un béton de chanvre réalisé à partir d'un liant hydraulique Fig. 5.

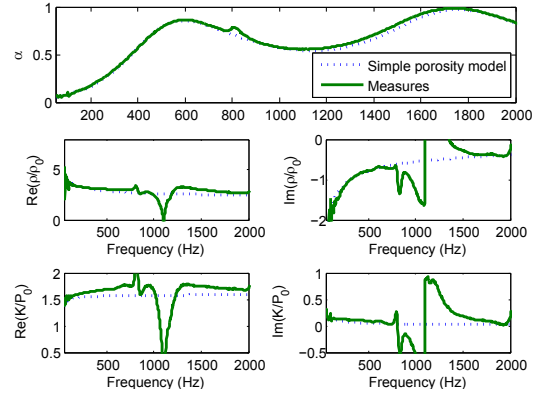


FIGURE 4 – Modélisation de la chènevotte - Granulométrie grossière - 102 kg/m^3

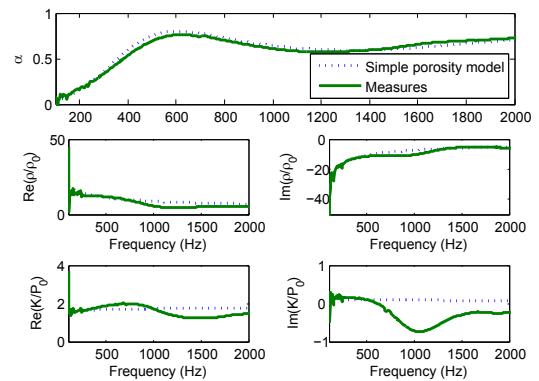


FIGURE 5 – Modélisation du béton de chanvre - Granulométrie grossière - Liant hydraulique

5 Conclusion

Dans le cadre de cette étude, les propriétés acoustiques du béton de chanvre ont été investiguées. Ce matériau de construction multifonctionnel, et fabriqué à partir de particules végétales, répond parfaitement aux problématiques environnementales actuelles. Une série d'échantillons de bétons de chanvre a été fabriquée par nos soins, constituée par les mélanges de liants de diverses natures à des chènevottes déclinées sous différentes granulométries. Les échantillons confectionnés ont alors été caractérisés par des mesures de porosité, résistivité et de coefficient d'absorption acoustique. En parallèle, les constituants de base ont également été caractérisés.

Le chanvre en vrac s'avère très poreux, ce qui lui confère d'excellentes propriétés acoustiques. En revanche, les liants testés ont une porosité faible et sont très imperméables. Ils sont donc très réfléchissants

d'un point de vue acoustique. Pour finir, les bétons de chanvre constituent de très bons compromis entre les deux constituants de base, avec une forte porosité et des propriétés intéressantes en absorption. Ces comportements acoustiques ont ensuite été modélisés. Les résultats ont permis d'approcher les mesures de façon satisfaisante, à la fois pour le liant, pour la chènevotte, et pour le béton de chanvre.

Cette étude a en outre été l'occasion d'identifier des moyens de contrôler les propriétés acoustiques du béton de chanvre. Ce contrôle peut être effectué de deux manières. Il faut dans un premier temps choisir les constituants adéquats. La morphologie des particules a effectivement un impact considérable sur l'absorption acoustique du béton de chanvre. De plus, il a été prouvé que le liant altère plus ou moins les propriétés acoustiques du béton selon qu'il soit de type chaux aérienne, chaux hydraulique ou ciment. Dans un second temps, on peut avoir un impact important sur ces propriétés acoustiques lors de la mise en oeuvre du béton de chanvre. On peut en effet modifier considérablement le coefficient d'absorption du béton par le compactage des particules, le choix de la teneur en eau du mélange de base, et le choix du dosage en liant.

Références

- [1] Swift M-J., Bris P., Horoshenkov K-V., "Acoustic absorption in re-cycled rubber granulate", *Applied Acoustics* 57, 203-212 (1993)
- [2] Rushfort I-M., Horoshenkov K-V., Miraftab M., Swift M-J., "Impact sound insulation and viscoelastic properties of underlay manufactured from recycled carpet waste", *Applied Acoustics* 66, 931-749 (2005)
- [3] Wassilief C., "Sound absorption of wood-based materials", *Applied Acoustics* 48, 339-356 (1996)
- [4] Yang H-S., Kim D-J., Kim H-J., "Rice straw wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials", *Bioresource Technology* 86, 117-121 (2003)
- [5] Arnaud L., Cerezo, V., "Qualification physique des matériaux de construction à base de chanvre - Rapport final - Programme de juin 1998 à août 2001", *Contrat de recherche CNRS 071462* (2001)
- [6] Cerezo V., "Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique", *Thèse MEGA, Lyon*, 240p. (2005)
- [7] Samri D., "Analyse physique et caractérisation hygrothermique des matériaux de construction : approche expérimentale et modélisation numérique", *Thèse MEGA, Lyon*, 284 p. (2008)
- [8] Boutin M-P., Flamin C., Quinton S., Gosse G., "Analyse du cycle de vie : Compounds thermoplastiques chargés fibres de chanvre et Mur en béton de chanvre banché sur ossature bois.", *Rapport d'Étude INRA Lille Réf. MAP 04 B1 0501*, 32 p. (2005)
- [9] Allard J.F., "Propagation of sound in porous media", *Elsevier Applied Science*, 124p. (1993)
- [10] Delany M-E., Bazley E-N., "Acoustical properties of fibrous absorbent materials", *Applied Acoustics* 3, 105-116 (1970)
- [11] Johnson D-L., Koplik J., Dashen R., "Theory of dynamic permeability and tortuosity in fluid-saturated porous media", *Fluid Mechanics* 176, 379-402 (1987)
- [12] Champoux Y., Allard J-F., "Dynamic tortuosity and bulk modulus in air-saturated porous media", *Applied Physics* 70, 1975-19779 (1991)
- [13] Lafarge D., Lemariner P., Allard J-F., Tarnow V., "Dynamic compressibility of air in porous structures at audible frequencies", *J. Acoust. Soc. of Am.* 102 (4), 1995-2006 (1997)
- [14] Pride S-R., Morgan F-D., Gangi A-F., "Drag forces of porous media acoustics", *Physical Review B* 47, 4964-4975 (1993)
- [15] Olny X., Boutin C., "Acoustic wave propagation in double porosity media", *J. Acoust. Soc. Am.* 114(1), 73-89 (2003)
- [16] Atalla N., Panneton R., Sgard F., Olny X., "Acoustic absorption of macro-perforated porous materials", *Journal of Sound and Vibration*, 243(4), 659-678 (2001)
- [17] Pispola G., Horoshenkov K-V., Khan A., "Comparison of two modeling approaches for highly heterogeneous porous media", *J. Acoust. Soc. of Am.* 121 (2), 961-966 (2007)
- [18] Olny X., Panneton R., Tran-Van J., "An indirect acoustical method for determining intrinsic parameters of porous materials", *Proceedings of the 2nd Biot conference, Grenoble*, 6 p. (2002)