



Etude d'un matériau poreux à base de polymères d'origine naturelle

A. Leblanc^a, J. Lefebvre^a, B. Genestie^b et A. Lavie^a

^aLGCgE, Faculté des Sciences Appliquées, Rue de l'Université, Technoparc Futura, 62400 Béthune, France

^bIUT/GMP, 1230 rue de l'Université, BP 819, 62408 Béthune Cedex, France
alexandre.leblanc@univ-artois.fr

Dans le domaine du bâtiment, les matériaux poreux sont largement utilisés pour leurs propriétés thermiques mais aussi acoustiques. Ainsi, des matériaux tels que les laines minérales, animales, végétales ou les mousses à cellules ouvertes sont principalement choisis. Dotés d'indices d'affaiblissement acoustique performants, ces matériaux sont néanmoins peu adaptés à l'absorption de bruits basses fréquences, sauf à en augmenter significativement l'épaisseur. Dans la perspective d'obtenir un matériau efficace avant 500 Hz et avec un encombrement minimal, un matériau innovant à base de polymères d'origine naturelle est proposé. La porosité contrôlée ainsi que la taille des pores induits sont évaluées expérimentalement et numériquement, notamment par la détermination des caractéristiques nécessaires aux modèles fluides équivalents. Un matériau double porosité obtenu par ce procédé de fabrication est également proposé.

1 Introduction

Dans le secteur du bâtiment, aussi bien en construction ou en rénovation architecturale, les matériaux sont largement utilisés pour leurs propriétés thermiques et de plus en plus pour leur apport concernant le confort acoustique. Ils peuvent ainsi être utilisés pour diminuer la transmission au bruit aérien, diminuer les bruits d'impact ou pour améliorer l'acoustique d'un habitat. Pour chacun de ces objectifs, les phénomènes en jeu sont différents, tout comme les matériaux classiquement utilisés pour y répondre. Les matériaux poreux sont parmi les plus utilisés et donc les plus développés. Souvent efficaces en moyennes et hautes fréquences, ces matériaux présentent des performances médiocres dans les spectres des sources de bruits rencontrés dans le domaine de l'habitat. Un des enjeux actuels autour de la conception de poreux est ainsi de pouvoir mieux contrôler sa gamme de fréquence d'absorption optimale. Un des moyens les plus utilisés pour y parvenir consiste à perforer (on parle ainsi de mésopores) un poreux classique [1].

Le réemploi d'un protocole de fabrication originellement dédié aux biocéramiques [2] permet ici l'obtention de poreux avec un contrôle fin sur leur structure interne. Ainsi, en plus du choix des tailles de pores et des interconnexions, une grande latitude de mise en œuvre est possible. Par ailleurs, l'obtention de poreux à double porosité ou présentant un gradient de porosité constitue une perspective réaliste

2 Protocole de fabrication

La démarche présentée ici permet d'obtenir un poreux, dont le squelette est un polymère naturel obtenu à partir d'un négatif constitué de billes de thermoplastique transparent polyméthacrylate de méthyle (PMMA). Ce protocole est basé sur une technique originellement dédiée à la réalisation de biocéramiques macroporeuses [2]. Mettant en jeu trois substances (PMMA/polymère/solvant), ce procédé requiert quatre étapes clés :

- (a) élaboration de la future structure fluide par empilement d'éléments en PMMA [2],
- (b) réalisation des interconnexions par dissolution contrôlée,
- (c) remplissage du squelette (polymères naturels en solution liquide),
- (d) élimination du PMMA par un solvant.

La phase (b) est particulièrement critique. On reprend ici la méthodologie de [2] : la mesure de l'écrasement de la hauteur d'empilement des billes de PMMA caractérise

également le taux d'interconnexion. Cependant, et dans le cas d'un mélange de billes fortement hétérogène en taille, cette méthodologie peut aisément être prise à défaut.

Considérant l'acoustique des milieux poreux, ce procédé possède au moins deux avantages. Le premier est d'offrir un contrôle fin de la structure, par le choix (et la possible répartition spatiale) des diamètres des sphères de PMMA utilisées. Le deuxième réside dans la variété des interconnexions possibles.

3 Un poreux contrôlé

Des billes de PMMA de diamètre $600 \pm 100 \mu\text{m}$ sont utilisées ici. Les échantillons obtenus par la procédure décrite dans la section précédente sont des poreux de forme cylindrique. Le tableau 1 explicite les caractéristiques de 6 échantillons élaborés séquentiellement dans des conditions identiques. On y remarque notamment le peu de variation concernant la porosité. Utilisant un microscope, des pores polygonaux de tailles similaires aux billes de PMMA employées sont observés. La structuration du squelette ainsi obtenu est particulièrement remarquable notamment lorsqu'on la compare avec le squelette d'un poreux *conventionnel* (cf. Fig. 2). Ainsi, les pores sont définis par de fins films de polymère là où une mousse polyuréthane montre un squelette plus épais. Cette aspect *bulles de savon* est à rapprocher des mousses type mélamine (cf. Fig. 3 de [3]). Là encore, des perspectives de contrôle des caractéristiques du squelette existent, notamment par l'utilisation de composites.

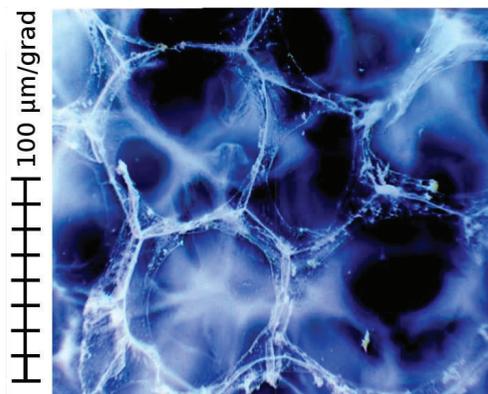


FIGURE 1 – Exemple d'un poreux contrôlé, $d \approx 600 \mu\text{m}$

Les échantillons du tableau 1 sont coupés en trois parties pour obtenir un poreux de 25 mm de hauteur. Une bague en téflon est utilisée pour adapter les diamètres de ces poreux au tube d'impédance utilisé pour les caractériser (B&K Impedance Tube Kit Type 4206). Ainsi, l'absorption

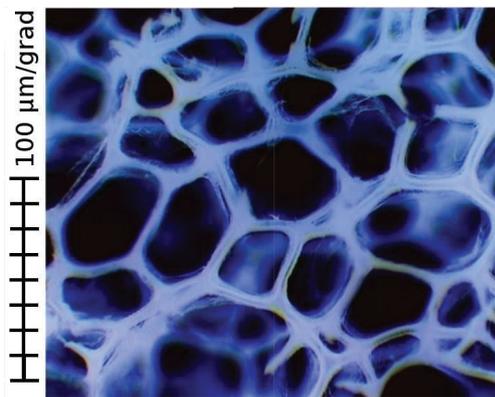


FIGURE 2 – Mousse polyuréthane commerciale

TABLEAU 1 – Caractéristiques des échantillons

éch.	masse (g)	haut. (mm)	diam. (mm)	polymère (cm ³)	ϕ (%)
A	0.5492	35.57	28.09	0.38	98.3
B	0.5720	35.25	28.13	0.39	98.2
C	0.5894	34.86	27.65	0.41	98.1
D	0.4612	35.12	25.79	0.32	98.3
E	0.5479	34.83	27.62	0.38	98.2
F	0.5792	35.78	27.57	0.32	98.1

obtenue expérimentalement, même si elle n'est pas strictement celle du poreux testé, est réalisée sur des surfaces d'absorption équivalentes (à l'exception de l'échantillon D). Les mesures du coefficient d'absorption obtenues par

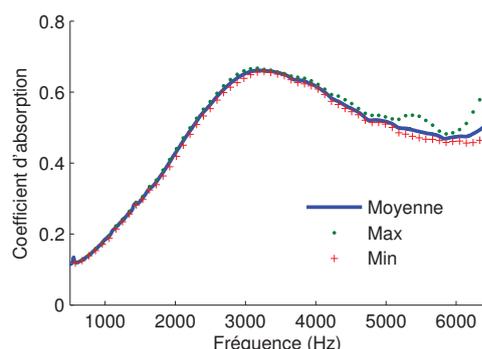


FIGURE 3 – Absorption moy/max/min 5 exemplaires de poreux tel qu'illustré par la Fig. 1

le tube d'impédance sont montrées dans la figure 3. Le pic d'efficacité est situé aux alentours des 3150 Hz pour ensuite décroître jusqu'à presque 6000 Hz, à cause des interférences entre l'onde réfléchi par le fond rigide et celle incidente. Le pic d'efficacité ainsi observé est en accord avec les résultats de [4]. En extrapolant le lien établi entre diamètre des pores et ce pic pour une mousse polyuréthane (Fig. 10 de l'article précédemment cité), on retrouve bien un diamètre de pore

moyen supérieur à 500 μm .

En utilisant le tube d'impédance avec la configuration décrite dans [5], on peut retrouver cette tendance, notamment par l'obtention de la grandeur caractéristique thermique Λ' . Le tableau 2 montre ainsi les différentes propriétés macroscopiques obtenues par cette méthode (où α est la tortuosité, σ la résistivité et Λ grandeur caractéristique visqueuse), pour une porosité ϕ donnée en entrée par le tableau 1. On confirme par ce biais l'obtention de pores de tailles importantes, fortement corrélé aux billes de PMMA utilisées.

TABLEAU 2 – Caractérisation des propriétés macroscopiques

éch.	α	σ (N s m ⁻⁴)	Λ (μm)	Λ' (μm)
A	1.492	2537	238	390
B	1.445	2669	244	392
C	1.457	2800	250	394
E	1.447	2484	244	392
F	1.477	2747	249	394

Les paramètres macroscopiques obtenus sont confrontés aux résultats expérimentaux par la figure 4. On constate ainsi une bonne adéquation entre mesures et l'emploi d'un modèle fluide équivalent [6], même sous l'hypothèse d'un squelette rigide (ce qui est encore moins vérifié dans ce cas que dans celui d'une mousse polyuréthane).

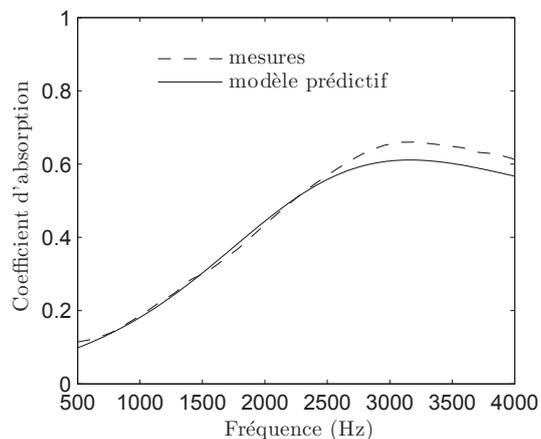


FIGURE 4 – Comparaison des mesures avec l'absorption prédite par un modèle fluide équivalent

Une des perspectives offertes par ce procédé est de pouvoir mélanger des billes de PMMA de différents diamètres. Et pour être pertinent pour une application acoustique, la différence entre ces différents diamètres doit être importante ($d_2 = 10 \times d_1$ par exemple). Deux difficultés sont alors à surmonter : la première est quasi *logistique* (trouver des billes de PMMA calibrées est un domaine de recherche à lui tout seul !), la deuxième est de l'ordre de la cristallographie géométrique (quelle proportion utiliser pour obtenir un double réseau poreux entrelacé). Une tentative est illustrée par la figure 5 avec une répartition égale de billes

de $600 \pm 100 \mu\text{m}$ et de $150 \pm 50 \mu\text{m}$. Bien qu'en deçà du ratio communément admis pour définir un matériau à double porosité, cet exemple témoigne de la possibilité d'influer fortement sur la structure du squelette, par l'utilisation de billes de diamètres différents. Dans le cas du matériau illustré par la figure 5, les pores dus aux billes d'environ $600 \mu\text{m}$ sont aisément discernables, au contraire de ceux créés par les plus petites billes de PMMA. Pour ces dernières, on peut en effet constater qu'elles ont en majorité éclaté lors du processus de séchage pour donner naissance à des fibres déstructurées.

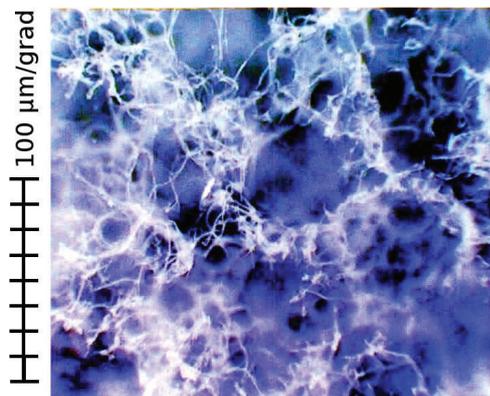


FIGURE 5 – Exemple de matériau obtenu avec deux tailles de billes de PMMA ($d_1 \approx 600\mu\text{m}$ et $d_2 \approx 150\mu\text{m}$)

Évaluée par le tube d'impédance, ce matériau possède une meilleure absorption que celui initialement décrit (cf. Fig. 1). Là encore, on se réfère à [4] pour interpréter ce résultat. Ainsi, on vérifie que la structure due aux billes de $600 \mu\text{m}$ reste prépondérante : dans le cas inverse, un décalage vers les basses fréquences aurait été préférentiellement constaté. Ici, au contraire, l'amélioration après 3000 Hz rend compte d'une augmentation significative de la résistivité du milieu. Ainsi, l'adjonction des billes de plus petite taille a principalement eu pour conséquence d'augmenter la surface apparente des mailles, menant à une résistivité de presque $1.2 \times 10^4 \text{ N s m}^{-4}$, couplée à une diminution de 30 % des longueurs caractéristiques thermique et visqueuse (en appliquant là encore la méthodologie de détermination à 3 micros).

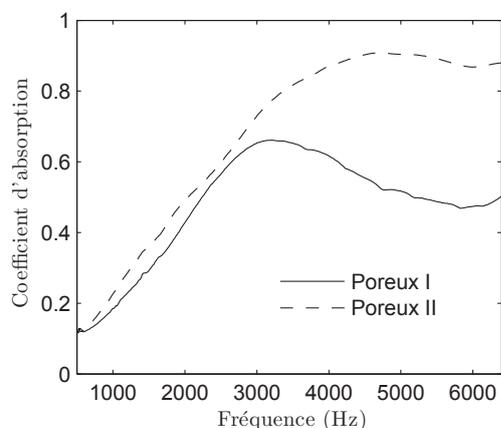


FIGURE 6 – Coefficient d'absorption pour le poreux décrit par la figure. 1 (Poreux I) et pour celui de la figure 5 (Poreux II)

En regardant de plus près l'impédance et le nombre d'onde caractéristiques (cf. Fig. 7), la différenciation

qualitative entre ces deux poreux apparaît clairement. Pour celui illustré par la figure 5, la réactance est altérée, à la mesure du décalage observé sur le pic d'absorption. De même, la partie imaginaire pour \tilde{k} rend compte de l'amélioration de l'amortissement dans le poreux, apporté par la structuration fibreuse des mailles.

Pour ce cas, et même si le comportement acoustique profite de l'adjonction des billes les plus petites, on doit reconnaître que cette amélioration est plus un artefact de fabrication que la conséquence de l'interpénétration d'un double réseau poreux. Pour y parvenir, une attention particulière est actuellement portée sur les proportions des différentes tailles de billes de PMMA utilisées et également sur le temps de prise du polymère dans le négatif solide ainsi défini.

4 Conclusion

Un protocole de fabrication dédié aux biocéramiques est détourné pour permettre la réalisation de matériaux poreux dédiés à une application acoustique. Se basant sur la création d'un négatif solide, aux pores et interconnexions contrôlés (notamment par le choix en taille des éléments constituant le négatif), ce procédé permet d'obtenir des poreux aux caractéristiques macroscopiques désirées. Des nombreuses possibilités offertes par cette méthodologie, nous avons illustré sommairement la possibilité d'influer fortement les caractéristiques du squelette, simplement en utilisant des billes de taille significativement différentes. Ainsi, et ne réalisant pas encore au sens strict un matériau à double porosité, l'obtention d'une structure à pores significativement différenciés apparaît comme une perspective raisonnable. De plus, et grâce à la compréhension accrue ces dernières années des corrélations entre les caractéristiques aussi bien géométriques que mécaniques de la structure de poreux et leurs propriétés acoustiques, ce procédé permettra bientôt de concevoir un matériau possédant un maximum d'efficacité pour une bande de fréquence arbitraire.

Références

- [1] X. Olny. Absorption acoustique des milieux poreux à simple et double porosité. Modélisation et validation expérimentale. PhD thesis, INSA Lyon / ENTPE (1999).
- [2] M. Descamps, T. Duhoo, F. Monchau, J. Lu, P. Hardouin, J. C. Hornez, A. Leriche, Manufacture of macroporous β -tricalcium phosphate bioceramics, *Journal of the European Ceramic Society*, **28**(1), 149–157 (2008).
- [3] L. Jaouen, A. Renault, M. Deverge, Elastic and damping characterizations of acoustical porous materials : Available experimental methods and applications to a melamine foam, *Applied Acoustics*, **69**, 1129–1140 (2008).
- [4] T. Yamashita, K. Suzuki, H. Adachi, S. Nishino, Y. Tomota. Effect of Microscopic Internal Structure on Sound Absorption Properties of Polyurethane Foam by

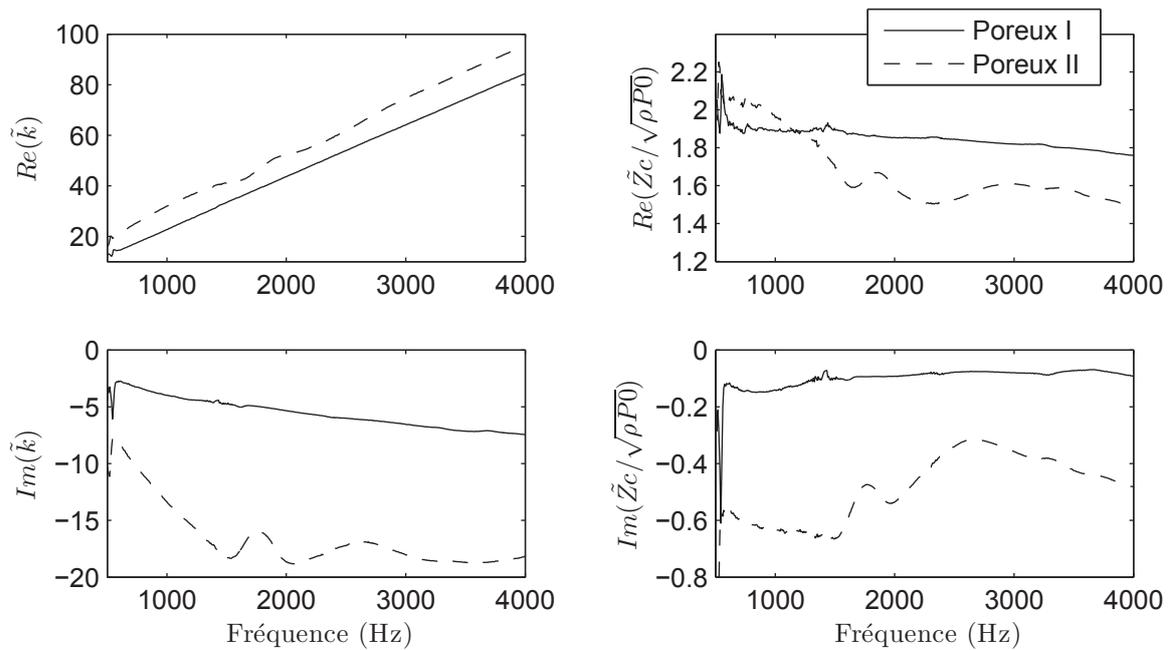


FIGURE 7 – Propriétés caractéristiques pour le poreux décrit par la figure. 1 (Poreux I) et pour celui de la figure 5 (Poreux II)

X-ray Computed Tomography Observations, *Materials Transactions*, **50**(2), 373–380 (2009).

- [5] O. Doutres, Y. Salissou, N. Atalla, R. Panneton Evaluation of the acoustic and non-acoustic properties of sound absorbing materials using a three-microphone impedance tube, *Applied Acoustics*, **71**, 506–509 (2010).
- [6] J. F. Allard, N. Atalla. Propagation of sound in porous media : modeling sound absorbing materials. 2nd ed. New York Elsevier Applied Science (2009).