

La durabilité de l'absorption acoustique des bétons poreux

Paul Sauvage
CERIB
BP 59
28231 Épernon CEDEX
Tél. : 02 37 18 48 00
Fax : 02 37 18 48 66

Les écrans acoustiques en béton sont utilisés en France depuis plus d'une trentaine d'années. Les écrans réfléchissants, conçus initialement uniquement en béton traditionnel, ne posent pas de problème particulier vis-à-vis de la pérennité. L'évolution des exigences en terme de bruit dans l'environnement a ensuite amené les fabricants à concevoir et développer des bétons poreux. Le béton poreux, complémentaire du béton traditionnel, confère à ces écrans des propriétés particulières d'absorption acoustique.

Les écrans absorbants, utilisés en particulier le long des voies routières, sont soumis à des agressions chimiques liées aux conditions météorologiques et de trafic (projection d'eau polluée). De nombreuses observations sur ouvrages ont montré l'excellent comportement des bétons absorbants à long terme (absence de dégradation naturelle). Les fabricants ont souhaité vérifier le bon maintien des performances acoustiques en absorption de leurs ouvrages en les soumettant à un vieillissement accéléré.

Afin de maîtriser parfaitement les paramètres de l'étude, le choix s'est porté sur des essais en laboratoire. Ils ont pu être réalisés en mettant au point une méthodologie spécifique de vieillissement artificiel d'éprouvettes de ces matériaux absorbants. Des mesures de coefficient d'absorption acoustique ont été réalisées avant et après le traitement vieillissant, permettant ainsi d'analyser le comportement de chaque échantillon.

Matériaux, dimensions

Les éprouvettes proviennent de deux types de matériaux différents (béton de bois et béton de pouzzolane). Ces échantillons ont été confectionnés à partir de blocs extraits de la production habituelle de deux fabricants, ceci afin de garantir la bonne représentativité des résultats acoustiques obtenus.

Quatre blocs ont été fournis par les fabricants. Trois carottes par bloc ont été réalisées comme résumé dans le tableau 1, correspondant aux diamètres des tubes d'impédance utilisés pour les mesures :

Numéro du bloc	Type de béton absorbant	Nombre de petites carottes	Nombre de grandes carottes
1	Pouzzolane	2	1
2	Pouzzolane	1	2
3	Bois	2	1
4	Bois	1	2

Tabl. 1 : Les échantillons testés

Essais acoustiques sur éprouvettes neuves

Principe

Le principe est basé sur la mesure de la fonction de transfert H entre deux signaux fournis par deux microphones montés sur la paroi de tube. Un haut-parleur est placé à une extrémité du tube et est excité par un bruit blanc via le générateur de l'analyseur et l'amplificateur de puissance. Un système d'ondes planes stationnaires est ainsi créé dans le tube, et la pression mesurée sur chaque microphone peut-être décomposée en pression incidente et réfléchi. Le coefficient de réflexion R du matériau est alors déterminé par :

$$R = \left(\frac{H - e^{-jks}}{e^{jks} - H} \right) e^{2k(l+s)}$$

Avec :

- k : nombre d'ondes
- s : espacement entre les microphones ($s = 50$ mm pour le gros tube et 20 mm pour le petit tube)
- l : distance entre la surface du matériau et le microphone le plus proche de l'échantillon (100 mm pour le gros tube et 35 mm pour le petit tube)

La détermination du coefficient de réflexion permet ensuite d'obtenir le coefficient d'absorption α et l'impédance de surface caractéristique par les relations :

$$\alpha = 1 - |R|^2$$

$$\frac{z}{\rho c} = \frac{1+R}{1-R}$$

avec :

ρ : masse volumique

c : célérité du son

Calcul des indices uniques

Les résultats en fréquences se présentent sous forme d'une courbe du paramètre α (coefficient d'absorption) en fonction de la fréquence. Les résultats dont le domaine fréquentiel est à la fois représenté par le petit et le gros tube (de 500 Hz à 1 250 Hz) ont été moyennés.

À partir des valeurs α par bande de fréquences, nous obtenons deux indices globaux calculés de manières différentes. Le premier, appelé DL α , correspond à la quantité d'énergie acoustique absorbée par les échantillons et exprimée en décibels. Le second, appelé alpha global, correspond cette même quantité d'énergie acoustique absorbée mais exprimée sans dimension et donc sans unité.

Il est important de noter que la mise en forme d'un indice unique des résultats engendre un lissage des phénomènes qui peuvent se produire. En effet, une pondération non constante en fonction de la fréquence est appliquée aux résultats avant le calcul de l'indice unique. Cette pondération définie dans la norme EN 1793-3, correspond au spectre du trafic routier. Les coefficients correspondant à cette pondération et appliqués aux différentes fréquences de chaque mesure fournissent la valeur finale.

Ceci explique, par exemple, que des écarts entre deux courbes en fréquence ne se traduisent pas forcément par des écarts en terme d'indice global.

Résultats des essais

Les résultats du coefficient d'absorption des échantillons bétons absorbants neufs sont présentés sur le graphique 1 ci-dessous :

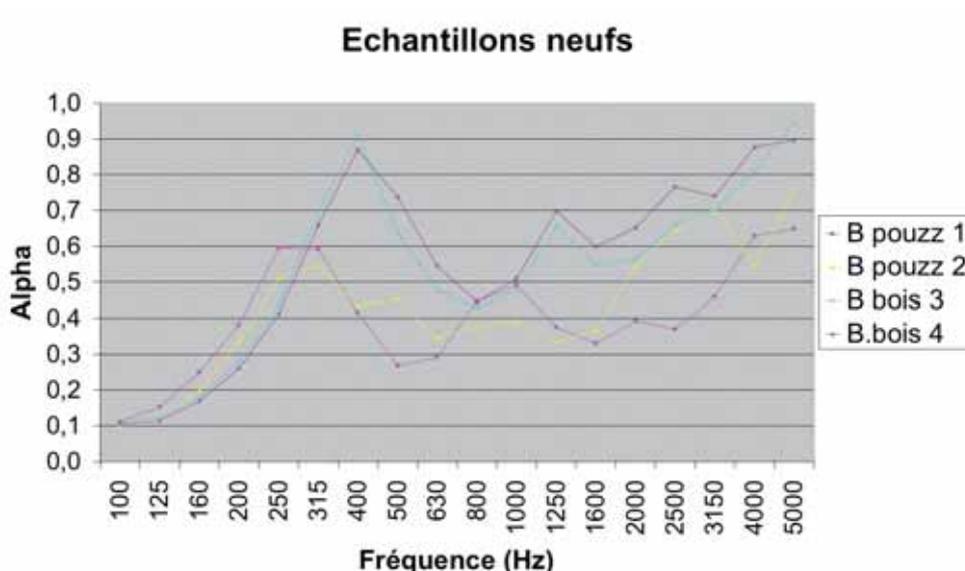


Fig. 1 : Résultats des essais

Le tableau ci-dessous présente les indices globaux obtenus :

	Pouzz 1	Pouzz 2	B. bois 3	B. bois 4
DL α en dB	2,5	2,5	3,5	4
α global	0,40	0,45	0,55	0,6

Commentaires

Il existe de faibles disparités entre deux échantillons d'un même matériau, ce qui montre néanmoins l'intérêt de travailler sur au moins deux carottes par type de béton. Ces écarts peuvent être dus à la précision de positionnement des échantillons dans le tube, ainsi qu'à la répétabilité propre de la méthode. Les données obtenues ont pour intérêt de définir une référence pour chacun des produits testés. Les résultats après vieillissement seront ensuite comparés à cette référence. Le béton de bois obtient une très bonne absorption à 400 Hz, qui chute jusqu'à 1 000 Hz pour remonter progressivement à son maximum à 5 000 Hz. Le béton de pouzzolane présente la même allure de courbe que le béton de bois mais avec un pic décalé à 315 Hz et d'amplitude inférieure d'environ 0,3. Ce sont des allures de courbes habituelles pour ce type de matériau. Les décalages en fréquences sont liés aux différences de porosité interne des matériaux et d'épaisseur des échantillons.

Vieillessement des éprouvettes

Le vieillissement accéléré des éprouvettes a été réalisé en deux phases : un cycle gel/dégel/pluie acide/chaleur humide puis un cycle polluant. Les protocoles de ces deux essais sont décrits ci-dessous.

Cycles gel/dégel/pluie acide/chaleur humide

Les dispositions d'essais sont prises de sorte que les échantillons soient soumis au vieillissement uniquement par

une seule face représentant dans la réalité la face exposée aux projections et intempéries.

Les faces latérales découpées sont protégées par un film d'emballage en polyane. Une attention particulière est portée sur les petits échantillons lors de leur manipulation afin de limiter les problèmes de fragilisation possible après les cycles de gel/pluie/chaleur.

Les échantillons habillés sont maintenus en position en les plaçant dans les récipients en plastique troués (Photo 3) adapté à la taille des échantillons.



Photo 1 : Petits échantillons soumis au vieillissement

Le cycle de vieillissement est composé comme suit :

- Palier de gel à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (+ ou - $2\text{ }^{\circ}\text{C}$) pendant 1 heure
- Montée de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 30 minutes
- Palier de chaleur humide à $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ (+ ou - $2\text{ }^{\circ}\text{C}$) et 95 % (à + ou - 3 %) d'humidité relative pendant 1 heure
- Chute de température de $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ avec projection de pluie acide avec sel à PH = 4 (eau déminéralisée + mélange d'acide sulfurique/nitrique et chlorhydrique) pendant 30 minutes
- Chute de température de $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 30 minutes

Après 105 cycles de pluie/gel/chaleur humide, les échantillons sont visuellement examinés et les éventuels désordres (écaillage, déchaussement des granulats, présence de microfissures, etc.) sont relevés.

Dans le cas de ces échantillons, aucun désordre de ce type n'a été relevé.

Cycles polluants

Le protocole est défini à partir du projet de norme européenne pr EN 14389-2 étudié au CEN TC226 (équipement de la route)/WG6 (écrans acoustiques) « Méthode d'évaluation des performances à long terme »

Tous les échantillons ont subi la même pulvérisation d'éléments polluants tel qu'indiqué ci-dessous :

Composition de l'eau chargée pour un litre :

- 3 % de NaCl
- 8 mg huile moteur 10w30 (synthèse ou demi-synthèse)
- noir de fumée 6.5 μg
- particule de Pb 175 μg
- particule de Zn 260 μg
- particule de Cu 78 μg
- eau déminéralisée

Cycles

- pulvérisation à raison de 1 l/m^2 /cycle à une distance de 10 cm des échantillons
- séchage 6 heures +/- 5 minutes à $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (à +/- $2\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- conservation à température ambiante (laboratoire) pendant 18 heures
- durée totale de cycle : 24 heures
- nombre total de cycles : 10 (2 x 5 cycles consécutifs)

La durée de pollution des échantillons a été de deux fois cinq jours consécutifs.



Photo 2 : Béton de bois vieilli + pollué



Photo 3 : Béton de pouzzolane vieilli + pollué

Essais acoustiques sur éprouvettes vieilles et polluées

Après chacune des deux étapes du vieillissement accéléré, vieillissant et polluant, les échantillons ont fait l'objet d'essais acoustiques. Les résultats présentés ci-après sont destinés à montrer l'évolution du coefficient d'absorption acoustique des matériaux à chaque étape.

Ces essais ont été réalisés suivant le même protocole que celui décrit précédemment.

Note : un petit échantillon de béton de pouzzolane s'est brisé lors de sa manipulation en laboratoire et n'a donc fait l'objet d'aucun essai complémentaire.

Résultats et comparaison avant/après vieillissement et pollution pour chaque matériau

Les résultats obtenus sur le béton de pouzzolane 1 sont présentés ci-après :

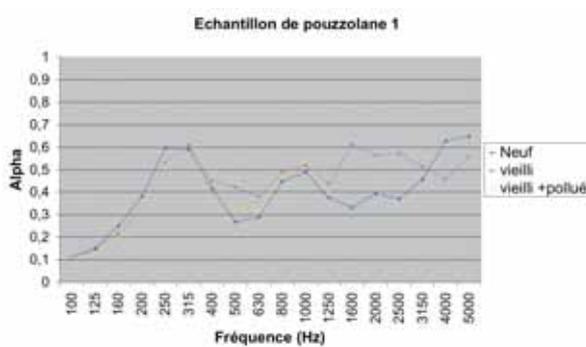


Fig. 2 : Résultats obtenus sur le béton de pouzzolane

	Pouzz 1 neuf	Pouzz 1 vieilli	Pouzz 1 vieilli + pollué
DL α en dB	2,5	3	/
α global	0,40	0,5	/

Tabl. 3 : Résultats globaux

Les écarts de résultats sur cet échantillon sont remarquables à partir de la bande de fréquence 1 600 Hz. Le coefficient d'absorption global a légèrement augmenté suite au vieillissement (voir ci-après l'analyse faite à ce sujet). Cet écart de 0.1 est principalement dû aux contributions des fréquences $f = 1\ 600\ \text{Hz}$ à $4\ 000\ \text{Hz}$

Les résultats obtenus sur le béton de pouzzolane 2 sont présentés sur les graphiques 3 et tableau 3 ci-dessous :

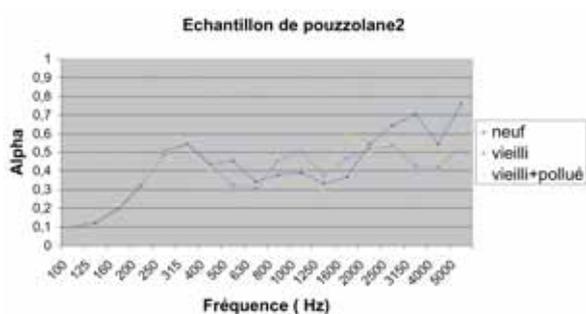


Fig. 3 : Échantillon de pouzzolane 1

	Pouzz2 neuf	Pouzz2 vieilli	Pouzz2 vieilli + pollué
DL alpha en dB	2,5	2,5	2,0
Alpha global	0,45	0,45	0,5

Tabl. 4 : Résultats globaux

À partir de la bande de fréquence 630 Hz, il existe dans certains cas des différences de 0.3 en terme d'alpha. La variation en terme d'alpha global est peu importante car les fréquences correspondantes contribuent peu aux α globaux.

Les résultats obtenus sur le béton de bois 3 sont présentés sur les graphiques 4 et tableau 4 ci-dessous :

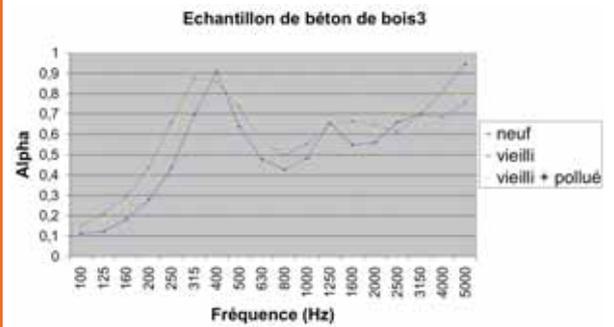


Fig. 4 : Béton de bois 3

	B. Bois3 neuf	B. Bois3 vieilli	B. Bois3 vieilli + pollué
DL alpha en dB	3,5	4	4
Alpha global	0,55	0,65	0,65

Tabl. 5 : Résultats globaux

Malgré l'apparition d'un petit pic d'absorption sur la courbe de l'échantillon vieilli + pollué à la bande de fréquence 2 000 Hz, l'allure de ces trois courbes est identique. La courbe de l'échantillon «neuf» est décalée en fréquence d'un tiers d'octave par rapport aux deux autres. Pour les résultats globaux, le vieillissement fait apparaître des performances en absorption augmentées de 0, 1 (voir également ci-après l'analyse).

Les résultats obtenus sur le béton de bois 4 sont présentés sur les graphiques 5 et tableau 5 ci-dessous :

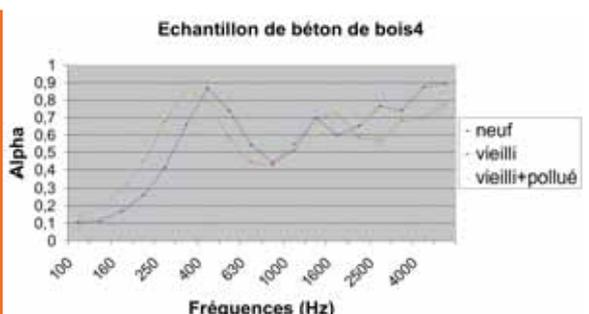


Fig. 5 : Béton de Bois 4

	B. Bois4 neuf	B. Bois4 vieilli	B. Bois4 vieilli + pollué
DL alpha en dB	4	4	4
Alpha global	0,6	0,6	0,6

Tabl. 6 : Résultats globaux

Le même phénomène de décalage en fréquence que pour l'échantillon 3 est observé. Les performances globales sont les mêmes.

Tous les résultats globaux arrondis, en terme d'alpha, obtenus au cours des différents cycles sont récapitulés dans le tableau 6.

État de l'échantillon	Neuf	Vieilli	Vieilli + pollué	Différence de performance
Pouzzolane 1	0.4	0.5	-	+0.1/-
Pouzzolane 2	0.45	0.45	0.5	0/+0,05
Béton de bois 3	0.55	0.65	0.65	+0,1/+0,1
Béton de bois 4	0.6	0.6	0.6	0

Tabl. 7 : récapitulatif des résultats

Malgré le protocole de vieillissement et de salissure, le coefficient d'absorption a peu évolué pour la plupart des échantillons.

Aucun phénomène de dégradation acoustique n'a été observé. À l'inverse, l'observation a été faite que certains résultats sont très légèrement meilleurs après vieillissement. Ceci confirme des mesures effectuées, par ailleurs, lors d'essais sur site par une autre méthode acoustique.

Les résultats sont significatifs, puisque toujours dans le même sens favorable au produit et la différence de performance est supérieure à l'incertitude de mesure.

Une explication tient en ce que les bétons absorbants, du fait de leur porosité spécifique, sont capables de se charger de particules de pollution qui s'agglomèrent et jouent le rôle d'absorbant. Ce phénomène ne peut évidemment pas se produire indéfiniment, ce qui limite le gain aux ordres de grandeurs indiquées dans le tableau 6.

Conclusions

L'application d'un protocole de vieillissement et de pollution relativement sévère n'a pas altéré les performances en absorption acoustique des échantillons, quel que soit le type de béton absorbant.

À l'issue de ces essais, la durabilité de ces matériaux face au gel, aux attaques acides et à la pollution s'est avérée plus que satisfaisante puisque leurs performances absorbantes ont légèrement augmenté pour plusieurs configurations.

Cette étude confirme les observations faites sur la partie absorbante des écrans acoustiques en béton posés depuis de nombreuses années, sur lesquels aucune dégradation naturelle n'avait été relevée.

