



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Verre et isolation acoustique

Bulletin technique

Introduction

Imaginez un dimanche après-midi, vous êtes chez vous en train de lire un bon livre, ou de dormir tranquillement ou bien vous êtes dans votre bureau, essayant de vous concentrer lorsque vous êtes dérangés par des voisins trop bruyants, la circulation ou tout autre bruit indésirable. Nous souffrons tous de l'intrusion du bruit à un moment ou à un autre.

Avec l'accroissement de la densité de population, la production des usines et le transport, il semble que le bruit augmente et il devient de plus en plus difficile de s'y soustraire.

L'augmentation du bruit au quotidien entraîne des conséquences néfastes sur la santé liées au stress. Il est certain que la circulation et donc le bruit qui en découle devraient empirer avec la réduction des espaces de vie. Les recherches se multiplient pour tenter de protéger la population du bruit et limiter le stress considérable qu'il provoque, quand il ne s'agit pas de graves maladies.

De nombreux travaux ont déjà été réalisés pour contrôler l'intrusion du bruit dans un immeuble ainsi qu'entre des pièces à vivre à l'intérieur. Même si le verre n'a qu'une part plus ou moins importante, nous pensons que le choix judicieux du verre apportera une contribution importante à la réduction du bruit.

Qu'est-ce que le son ?

D'un point de vue physique, le son appartient au domaine de la physique ondulatoire / des oscillations mécaniques. Il y a même 2000 ans, un architecte romain pour la construction d'amphithéâtres utilisa les ondes aquatiques pour améliorer sa conception.

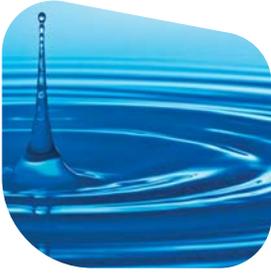


Figure 1 : le son se dissémine comme les ondes à la surface de l'eau

Par exemple, lorsque l'on utilise un diapason, on entend les oscillations, mais on ne les voit pas. Ces oscillations du diapason sont transmises aux molécules d'air, qui transmettent à leur tour les oscillations à d'autres molécules d'air. Ce comportement peut être démontré dans l'eau. Ces oscillations sont comparables à une onde

dans l'eau, avec la hauteur de l'onde constituant une mesure du volume sonore (l'intensité) et le nombre d'ondes dans le temps correspond à la fréquence du son. Plus les ondes sont nombreuses, plus la fréquence est grande. La fréquence est définie en cycles par seconde ou Hertz. Le Hertz (Hz) est l'unité utilisée pour définir la fréquence ou le timbre du son.

En musique, la note la plus proche au-dessus du do central possède une fréquence de 440 Hz ou oscillations par seconde pour accorder l'orchestre. Si l'on double la fréquence à 880 Hz, la note augmente d'une octave pour accorder les instruments de façon harmonieuse.

L'oreille d'une jeune personne est capable de détecter des fréquences allant de 20 Hz à 20.000 Hz et détecter des pressions acoustiques, ou pour être plus précis des fluctuations de pression, de 10 à 5 pascals (Pa) = 0,00001 (seuil d'audibilité) et 10^2 Pa = 100 Pa (seuil de la douleur) en les transmettant au cerveau comme sensation de volume. Lorsque l'on avance en âge, la plage de fréquence audible diminue naturellement des deux extrémités de l'échelle ou bien à la suite de blessures auditives.

La relation entre le bruit le plus faible et le bruit le plus fort il y a un facteur de un à dix millions. Comme cela est très difficile à gérer, en pratique le niveau de pression sonore, ou niveau sonore L pour simplifier, est exprimée en échelle logarithmique qui représente une conversion de la pression sonore en mesure plus pratique comme échelle de décibel (dB). La plage normale va de 0 dB (seuil d'audition) à environ 130 dB (seuil de douleur). La figure 3 montre quelques exemples.

Il existe toute une série de sources de bruit et chaque bruit peut produire différents volumes de son à des fréquences différentes. Si nous prenons l'avion comme exemple, la différence est évidente entre le son réalisé par un aéronef entraîné par propulseur, des réacteurs à double flux modernes et des aéronefs militaires. Si l'on dessine la fréquence sous forme graphique, leur profil est totalement différent. Pour tenter de vaincre le bruit il convient de tenir compte de ces variations et il s'avère que certains types de vitrage donnent de meilleurs résultats à certaines fréquences. Comparer les performances du vitrage en matière d'isolation acoustique permet de réduire de manière sélective les bruits les plus gênants pour

Définition de la fréquence

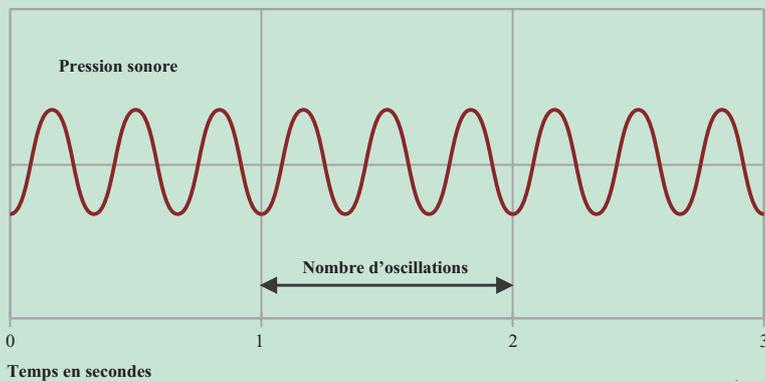


Figure 2 : définition de la fréquence

Source et perception du bruit

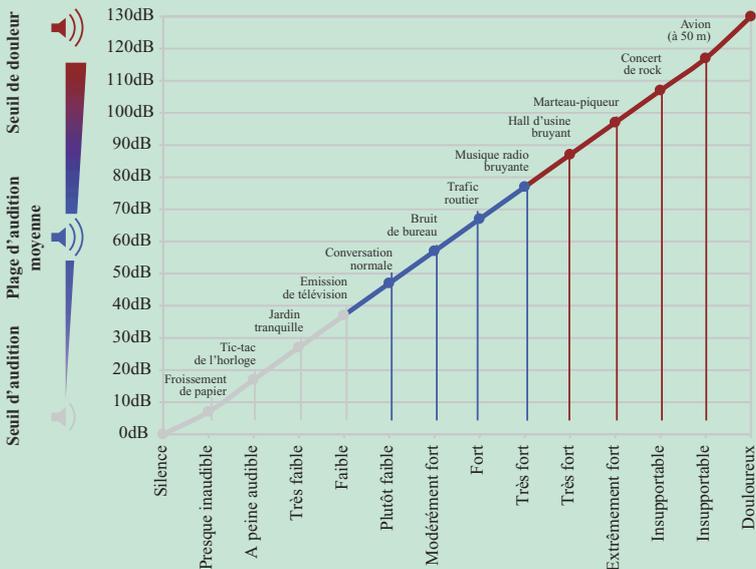


Figure 3 : source et perception du bruit (source: Kuraray, Troisdorf)

tirer le meilleur parti du produit. Ceux qui vivent à proximité d'un aéroport privé avec un faible trafic n'auront pas du tout les mêmes problèmes que les voisins d'une base militaire. A chaque problème d'isolation acoustique correspond une configuration de vitrage différente.

On peut déterminer le niveau sonore de plusieurs façons. Pour les grands projets ou les projets difficiles, une étude acoustique peut être réalisée sur site par des consultants spécialisés en acoustique qui utiliseront des équipements spécifiques pour mesurer et faire la moyenne des niveaux sonores par fréquence sur une période donnée. Ces études fournissent des données précises sur le volume de bruit à chaque fréquence qu'il convient d'atténuer. Les informations sont réalisées sous forme de rapports donnant les fréquences par octave, par exemple :

| | | | | | | |
|----------------------|-----|-----|-----|------|------|------|
| Fréquence [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Pression sonore [dB] | 30 | 36 | 42 | 44 | 48 | 50 |

On peut mesurer le son sur le site, près de la source sonore ou à une distance intermédiaire. En l'absence de données sonores pour le site on peut procéder à un ajustement pour tenir compte de la distance. Plus on est loin de la source et plus l'impact est faible.

Exemple : disparition du bruit avec la distance

Le bruit du trafic routier baisse d'environ 3dB avec le doublement de la distance perpendiculaire à la route. Si, par exemple, L est le niveau sonore en dB à 5 mètres, le bruit s'atténue selon le schéma suivant :

| | | |
|------------|--------|----|
| 5 mètres | L | dB |
| 10 mètres | (L-3) | dB |
| 20 mètres | (L-6) | dB |
| 40 mètres | (L-9) | dB |
| 80 mètres | (L-12) | dB |
| 160 mètres | (L-15) | dB |

Le niveau sonore est souvent mesuré sur une période donnée et l'on fait la moyenne pour retirer les effets disproportionnés des bruits isolés beaucoup plus forts et de nature exceptionnelle comme un klaxon automobile. Le niveau d'énergie sonore d'un bruit est déterminé par UNE moyenne des énergies sonores sur une longue période appelé le niveau jour/nuit (L_{den}).

C'est ce niveau sonore (L_{den}) qui doit servir de base pour la conception et non les pics sonores isolés. C'est la raison pour laquelle la conception devrait prendre en compte le bruit général et non les exceptions, faute de quoi les critères de réduction de bruit atteindraient des niveaux extrêmes. Pour certaines applications il peut être approprié d'utiliser une partie seulement de ces périodes ou un bruit supplémentaire qui peut survenir sur une courte période de temps.

Les équipements de mesure du bruit offrent parfois la possibilité d'enregistrer les données avec une pondération A. Lorsque l'on a défini les limites sonores intérieures on les exprime souvent en dB(A) ou L_{Aeq} . La pondération A est un ajustement du bruit à chaque fréquence suivant une courbe standardisée. La pondération A s'appuie sur le fait que l'oreille humaine ne réagit pas au même volume à chaque fréquence de façon égale et certaines fréquences paraissent plus fortes que d'autres alors qu'elles sont produites avec la même énergie. Il est important de prendre en compte la réaction humaine au bruit et non de prendre des décisions seulement fondées sur les instruments sensibles qui mesurent le son de manière absolue.

En l'absence d'études, on peut toujours s'inspirer d'exemples d'études précédentes qui permettent aux concepteurs de prendre comme hypothèse des niveaux sonores types à partir de sources de bruit courantes, comme le trafic routier, la musique, la conversation, les trains, les avions, etc.

En l'absence de données précises (bande en tiers d'octave) il existe toute une série d'expressions abrégées pour la source sonore, typiquement R_w et R_{in} qui synthétisent les informations. Pour les performances du vitrage, les abréviations sont déterminées en prenant les tracés des courbes de réduction sonore par fréquence et en les comparant mathématiquement jusqu'à ce que l'on obtienne la bonne correspondance. La réduction sonore à une fréquence déterminée sur la courbe standard donne les valeurs appelées R_w et R_{in} .

Lorsque l'on connaît le niveau sonore on peut harmoniser les performances du vitrage pour obtenir le niveau requis de bruit résiduel. Il est important que les indices de mesures soient harmonisés ou ramenés à la même échelle pour garantir la pertinence des calculs.

Détermination de la valeur d'insonorisation R_w

10 mm Pilkington **Optifloat™** – espace 16 mm – 9,1 mm Pilkington **Optiphon™**

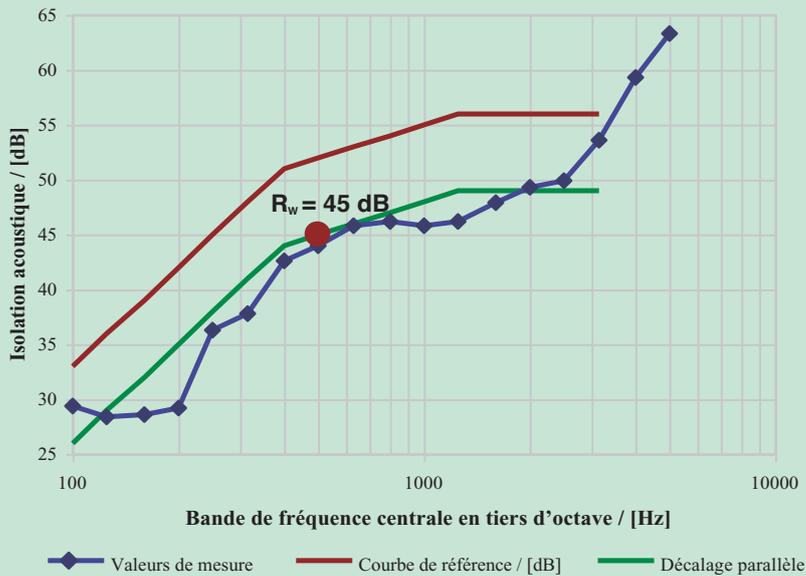


Figure 4 : détermination de l'isolation sonore

* connu auparavant sous le nom de Pilkington **Optilam™** Phon

Pour ceux qui aimeraient aller un peu plus loin

Les valeurs mesurées pour du verre Pilkington **Optifloat™** 10 mm – espace d'air de 16 mm – Pilkington **Optiphon™*** 9,1 mm sont illustrées en bleu. La courbe de référence donnée dans la norme EN 717 section 4 est illustrée en rouge. Cette courbe de référence est maintenant déplacée vers le bas sur l'ensemble de la bande, jusqu'à ce que la somme des écarts des valeurs mesurées par rapport à la courbe de référence soit optimisée, en restant inférieure à 32 dB. Seules les valeurs de mesure inférieures aux valeurs de référence sont prises en compte. La valeur y de cette courbe de référence décalée (courbe verte sur la figure 4) à une fréquence de 500 Hz est la valeur R_w recherchée, dans cet exemple 45 dB. Malheureusement, la relation mentionnée ci-dessus entre l'amplitude de pression sonore et le volume perçu n'est pas aussi simple que les scientifiques veulent bien nous le faire croire dans la mesure où la nature a fait en sorte que notre audition soit plus sensible à certaines fréquences que d'autres. Cela signifie que nous percevons un son de 1000 Hz plus fortement qu'un son de 100 Hz, alors que le volume est identique. Cette propriété de l'oreille humaine est prise en compte pour tracer la courbe de référence.

Détermination de l'isolation acoustique des vitrages

Comme cela prendrait du temps et coûterait cher de mesurer chaque système sur site, tous les spectres d'insonorisation sont enregistrés dans des conditions standardisées (trait bleu sur la figure 4). Comme on le voit, l'isolation acoustique dépend étroitement de la fréquence. Pour ne pas devoir travailler avec tout l'ensemble de données on peut réduire ce schéma à une seule valeur. La procédure standardisée est décrite dans la case ci-dessous. Le résultat est un simple chiffre – dans ce cas $R_w = 45$ dB – qui pourra servir dans les calculs ultérieurs.

L'inconvénient d'une telle spécification à une seule valeur est que l'on parvient au même résultat avec des formes de courbes complètement différentes, comme le montre la figure 5.

On obtient des spécifications à une seule valeur plus expressives si l'on utilise des courbes de référence "taillées sur mesure" pour répondre à des exigences particulières.

Comparaison entre deux vitrages isolants où

$R_w = 39$ dB

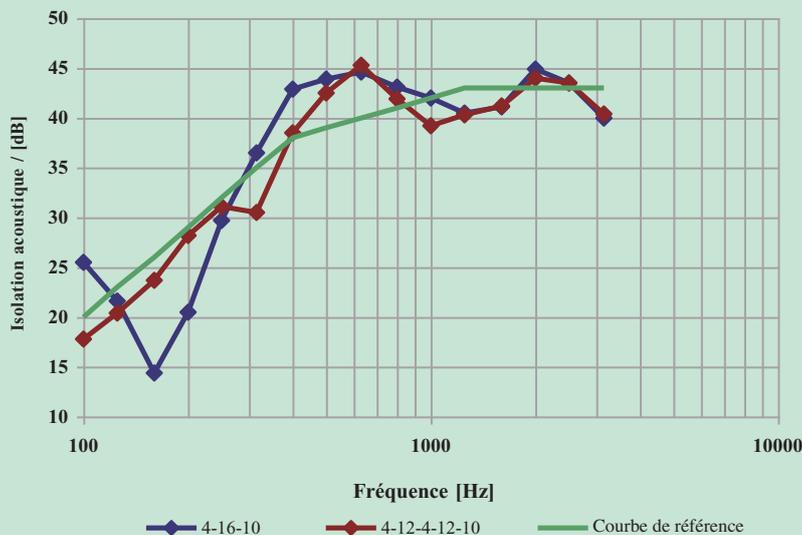


Figure 5 : comparaison entre deux vitrages isolants

De tels “cas spéciaux” sont C et C_v. Ils prennent en compte les différents spectres de fréquence des bruits résidentiels et des bruits de la circulation et permettent alors de trouver des solutions adéquates aux problèmes rencontrés et ce, en toute simplicité.

La valeur C intègre les sources de bruit :

- Activités résidentielles (conversation, musique, radio, TV)
- Jeux d'enfants
- Trafic ferroviaire à vitesse moyenne et à grande vitesse
- Trafic autoroutier > 80 km/h
- Avions à réacteur à une courte distance
- Entreprises émettant principalement un bruit de moyenne et haute fréquence

La valeur C_v intègre des sources de bruit comme :

- Trafic routier urbain
- Trafic ferroviaire à vitesse lente
- Avions à propulseurs
- Avions à réacteur à une longue distance
- Musique disco
- Entreprises émettant principalement un bruit de faible et moyenne fréquence

Alors, si l'immeuble est situé dans une grande ville, jouxtant une voie principale, la valeur C_v est la plus adaptée. Si l'immeuble est en bord d'une autoroute, la valeur C est plus appropriée.

Règles de calcul

Même si l'utilisation de l'échelle dB privilégie des chiffres bien pratiques, elle donne également lieu à des “règles de calcul” quelque peu inhabituelles. En cas de duplication d'une source de bruit la valeur dB globale n'augmente que de 3 dB. Une augmentation d'un facteur de dix, comme l'utilisation de dix ventilateurs électriques au lieu d'un seul, provoque simplement le doublement du bruit, soit 10 dB.

Pour terminer l'explication, il faut également signaler que diviser par deux le niveau sonore au niveau de l'oreille n'est pas reconnu pour la division du volume par deux. Il est généralement vrai que :

- Une différence de 1 dB n'est pas perceptible dans la pratique
- Une différence de 3 dB est à peine perceptible
- Une différence de 5 dB constitue une nette différence
- Une différence de 10 dB divise/multiplie le bruit par deux.

Différents types d'isolation acoustique

Masse

Comme cela est mentionné ci-dessus, le son se propage sous forme d'ondes en excitant les molécules du milieu en question de manière à les faire osciller. Du fait de ce moyen de transmission, le bruit est soumis à un amortissement naturel - selon la masse en question. En deux mots : plus la masse est importante entre l'émetteur et le récepteur, plus l'amortissement est important.

Le moyen le plus simple pour augmenter l'isolation acoustique du verre consiste par conséquent à utiliser des verres épais. Ainsi, un simple verre de 12 mm possède une valeur R_w de 34 dB, tandis que la valeur correspondante pour un verre de 4 mm est seulement de 29 dB.

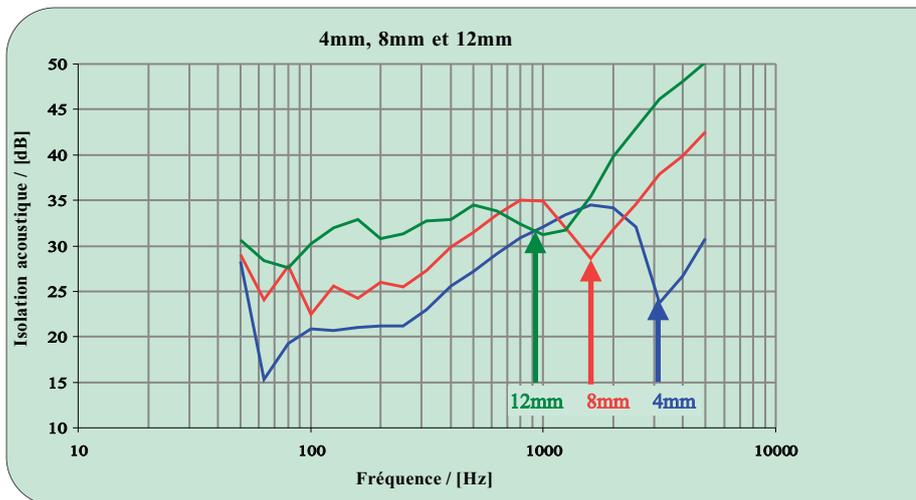


Figure 6 : influence de l'épaisseur sur la fréquence critique des verres float

Fréquence critique et asymétrie

Si l'on compare les spectres des verres de 4 mm, 8 mm et 12 mm, on voit que chacun de ces spectres fléchit dans la partie droite.

Cette baisse des performances à certaines fréquences ou fréquences critiques se produit lorsque la fréquence correspond à la fréquence de résonance naturelle du produit. Appelée fréquence critique ; celle-ci est liée au matériau et dépend de l'épaisseur du verre. En simplifiant :

$$f_g = \frac{12000 \text{ Hz}}{d}$$

(où d = épaisseur du matériau en mm)

Selon cette formule, f_g est de 3000 Hz pour le verre de 4 mm, 1500 Hz pour le verre de 8 mm et 1000 Hz pour le verre de 12 mm, ce qui correspond très bien aux spectres de la figure 6.

Pour surmonter ce problème on peut combiner différentes épaisseurs des verres dans un vitrage isolant de sorte que lorsqu'un verre atteint sa fréquence critique, l'autre non et continue à atténuer le son.

De telles structures asymétriques peuvent ainsi réduire de manière significative le fléchissement de la fréquence critique, comme le montre la figure 7. Une différence d'épaisseur de 30% est souhaitable. Cette différence réduit non seulement le fléchissement mais décale également l'échelle vers le haut ce qui est avantageux dans la mesure où plus la fréquence est élevée, plus le verre gagne en efficacité pour réduire le niveau sonore global.

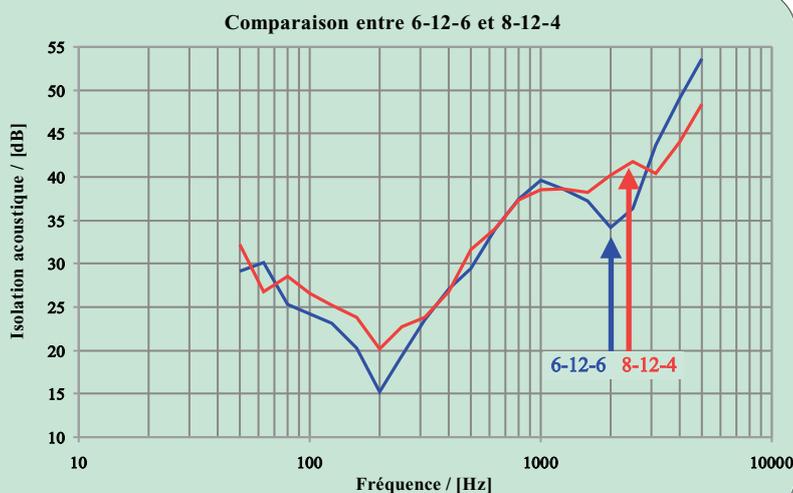


Figure 7 : structure de verre asymétrique pour réduire la fréquence critique

Espace entre les vitrages / remplissages de gaz

Un autre procédé de contrôle de transmission du bruit consiste à jouer sur la distance entre les verres. Avec des vitrages isolants conventionnels l'espace entre les verres est limité pour conserver les performances thermiques optimales et la taille de l'espace n'est pas suffisante pour augmenter les performances acoustiques de manière significative. Avec une double fenêtre on peut obtenir des espaces relativement importants et un espace d'air de plus de 60 mm commence réellement à améliorer les performances. L'espace entre les deux fenêtres peut également être isolé avec des matériaux absorbants pour augmenter les performances acoustiques.

Remplir de gaz l'espace entre les verres d'un vitrage isolant présente des effets marginaux et ne constitue pas de réels progrès avec l'argon. Du fait de la densité du krypton on peut gagner jusqu'à 1 dB pour les performances acoustiques. L'hexafluorure de soufre (SF_6) peut-être envisagé pour l'isolation acoustique car très lourd, cependant, ce gaz présente deux inconvénients. Premièrement, il n'est pas performant en terme d'isolation ther-

mique, et deuxièmement, ce gaz possède un équivalent CO_2 de 22.800 et contribue donc beaucoup trop à l'effet de serre. Pour ces deux raisons, les remplissages de gaz SF_6 sont interdits dans la majeure partie des pays européens.

Découplage / amortissement

On a vu que l'épaisseur du verre jouait un rôle important et jouer sur l'épaisseur du verre dans un vitrage isolant constituait une méthode intéressante pour améliorer les réductions sonores. Ajouter du poids ou avoir des espaces d'air importants entre les vitrages peut présenter des inconvénients notamment pour le poids et l'encombrement. Heureusement il y a plusieurs façons d'améliorer les réductions sonores des verres relativement minces en introduisant un effet amortisseur dans le verre. En feuilletant le verre avec une couche intermédiaire PVB standard on peut réduire la baisse des performances due à la fréquence critique et décaler la fréquence à laquelle se produit le fléchissement. L'utilisation d'un vitrage feuilleté Pilkington **Optilam**™ peut constituer une amélioration marquée en particulier si le niveau sonore est élevé à la fréquence critique pour un verre monolithique. Les vitrages isolants peuvent donner de très bons résultats avec un mélange de types de verres monolithiques (Pilkington **Optifloat**™) et de vitrages feuilletés Pilkington **Optilam**™.

Pour répondre à des spécifications plus performantes, il existe aujourd'hui le vitrage feuilleté Pilkington **Optiphon**™. Ce vitrage fait appel à des films intercalaires spéciaux et présente par la même occasion une résistance en terme de sécurité à l'impact. Si l'on observe le profil de la courbe pour le vitrage feuilleté Pilkington **Optiphon**™ on voit que le fléchissement des performances au niveau théorique de la fréquence critique est pratiquement éliminé. On peut choisir la bonne qualité de produit pour que le profil sonore améliore les performances sans augmenter l'épaisseur de verre de façon importante. Cet élément permet d'accroître la flexibilité de conception sans négliger les autres fonctions du vitrage.

Dans la partie gauche des spectres on voit un autre fléchissement. Il s'agit de ce que l'on appelle la fréquence de résonance. C'est la fréquence à laquelle le composant dans son ensemble oscille en résonance et transporte ainsi les oscillations sonores particulièrement bien avec une isolation acoustique médiocre.

On peut améliorer l'isolation acoustique en

déplaçant la fréquence de résonance du composant vers une autre fréquence (en s'éloignant de la fréquence de nuisance ou vers le point auquel l'oreille humaine va entendre moins bien). On atteint ce résultat par l'effet 'masse/ressort/masse' du verre isolant, en rendant un des deux verres à la fois lourd et souple. Il suffit alors d'utiliser des vitrages feuilletés avec des intercalaires PVB acoustiques développés spécialement pour cette application.

Rappel important

Choisir le bon vitrage acoustique c'est rendre l'environnement intérieur confortable et dépourvu du stress associé à l'intrusion du bruit. Le niveau de bruit résiduel n'est pas le même pour tous les types de bâtiments et des réglementations nationales existent pour la plupart des environnements. Par exemple dans une bibliothèque le bruit de fond devrait être d'environ 30 dB et une chambre est différente d'un salon. Le bruit nul est peu souhaitable et se rencontre uniquement dans les chambres anéchoïques normalement réservées aux essais. Le bruit nul peut se révéler une expérience insolite dans la mesure où l'oreille parvient à capter d'autres sons qui deviennent parasites. L'équation, à titre indicatif, devient :

$$\text{Source de bruit} - \text{isolement du bâtiment} = \text{bruit résiduel}$$

Il faut noter que c'est tout l'immeuble qui participe à l'atténuation du bruit et que le verre à lui tout seul ne va pas résoudre tous les problèmes acoustiques. Le son n'a besoin que d'un passage minimale pour pénétrer dans un immeuble à la différence de la perte ou du gain thermique, qui tendent à être proportionnels à la superficie. Pour des réductions du bruit allant jusqu'à environ 35 dB des fenêtres normales sans aération proposeront des performances similaires. Au-delà de ce niveau, les fenêtres développées pour la réduction du bruit doivent rester en phase avec les performances du verre pour garantir l'efficacité du châssis vitré.

En résumé

Cinq facteurs peuvent être combinés et peuvent influencer de manière positive la performance acoustique d'un vitrage isolant.

1. Masse de verre
2. Structure asymétrique
3. Espace important entre les vitrages
4. Utilisation de gaz spécifiques
5. Utilisation de verres de sécurité feuilletés spéciaux **Optiphon™** ou verres feuilletés résine.

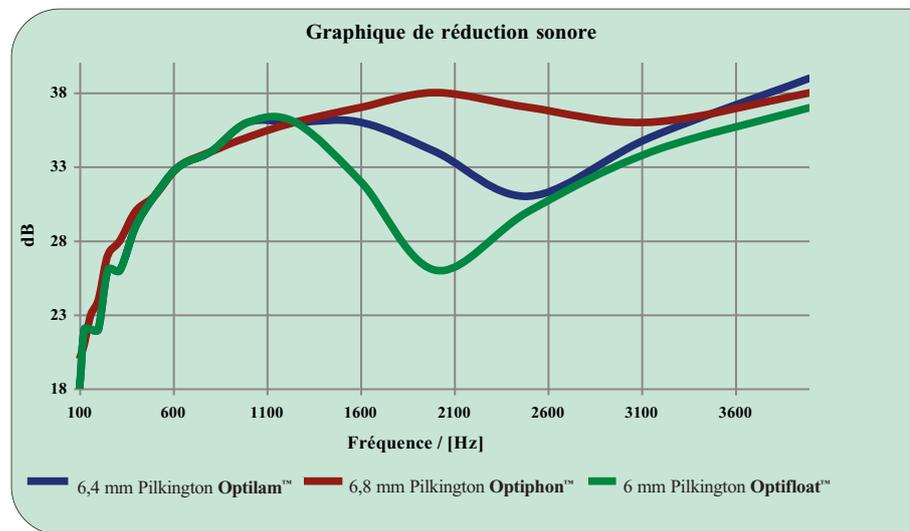


Figure 8 : illustration de la réduction du bruit

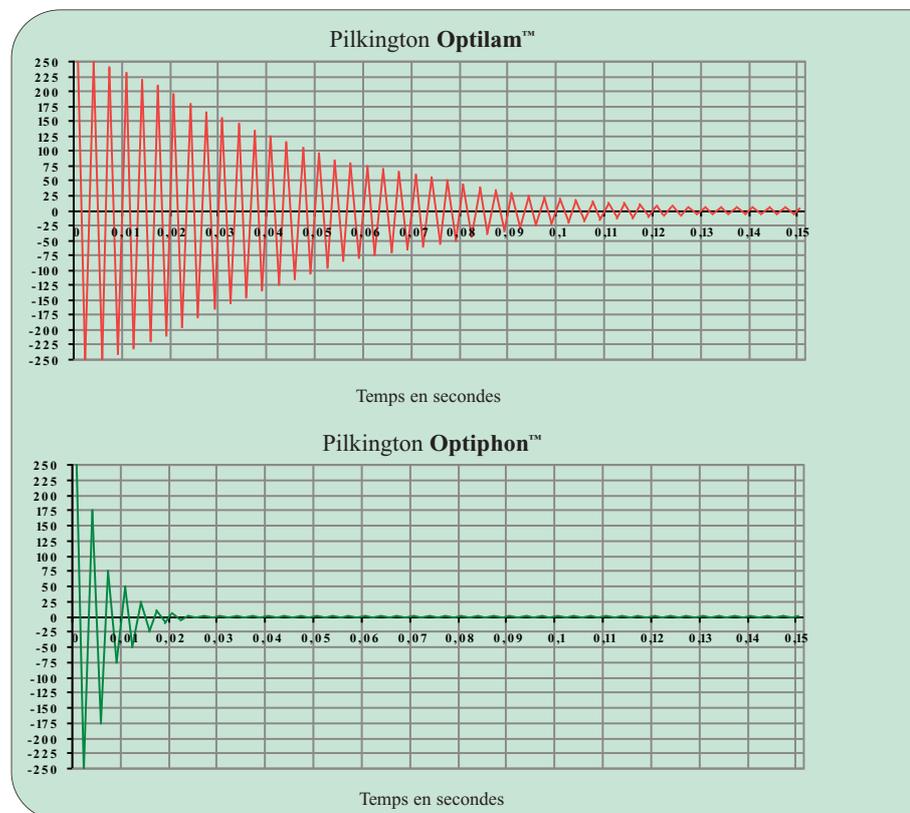


Figure 9: l'illustration montre la différence impressionnante sur l'amortissement du bruit entre Pilkington **Optilam™** et Pilkington **Optiphon™** d'un point de vue purement technique.

Pour répondre à des exigences d'isolation acoustique plus sévères, les verres feuilletés de sécurité acoustiques Pilkington **Optiphon™**, sont de plus en plus utilisés par rapport aux vitrages feuilletés en résine coulée. Ils peuvent atteindre des valeurs R_w même supérieures à 50 dB et sont disponibles en grands plateaux. La compatibilité du PVB avec d'autres matériaux est bien connue, de plus, il apporte une bonne protection contre les impacts et peut être utilisé pour les vitrages en toiture.

Même si le présent document a été rédigé et présenté de bonne foi, la société Pilkington Group Limited rejette cependant toute responsabilité liée à une erreur ou une omission sans oublier toutes les conséquences susceptibles d'en découler.



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Pilkington France
64/76 rue Charles Heller
94400 Vitry sur Seine
Tél.: 01 55 53 57 57
Fax: 01 55 53 57 58
www.pilkington.com