

ISOLEMENTS AU BRUIT AERIEN *IN SITU*

INCERTITUDES QUANT AUX METHODES PREVISIONNELLES

Julien COENCA¹, Christophe SEJOURNE¹

¹ Acoustique & Conseil, 17/19 rue des Grandes Terres, F-92500 Reuil-Malmaison, {jc,csj}@acoustique-conseil.com

L'acousticien de bureau d'études doit pouvoir garantir dès la conception d'un bâtiment les valeurs d'isolement au bruit aérien entre locaux. Cette garantie passe par la maîtrise des incertitudes ayant cours tout au long du projet : incertitudes de calcul prévisionnel, de mise en œuvre, de mesures *in situ*. L'objet de cette étude est de quantifier les incertitudes prévisionnelles de différentes méthodes de calcul usuelles dans le cadre d'un bureau d'études acoustique. Quatre méthodes de calcul ont ainsi été confrontées à cinquante mesures d'isolement que nous avons réalisées dans des situations variées de projets auxquels nous avons participé, en tant que bureau d'étude, de manière plus ou moins importante. Dans un premier temps, l'analyse comparative de ces méthodes sur l'ensemble des cas montre une surestimation moyenne globale de l'isolement $D_{nT,A}$ de l'ordre de 2 dB, avec un écart type de 2 à 4 dB. L'écart prévisionnel augmente avec la fréquence. Dans un second temps, une analyse plus fine par critères semble mettre en évidence plusieurs tendances, à confirmer, notamment, une mauvaise prise en compte des traversées de réseaux filants par les outils de calcul classiques, la diminution de l'erreur du calcul prédictif avec un suivi de chantier acoustique, une meilleure corrélation entre calcul prédictif et mesure finale pour les séparatifs fixes (lourds ou légers) par rapport aux séparatifs mobiles. Nous montrerons pour les différents cas étudiés que certaines méthodes de calcul paraissent plus adaptées, par exemple dans la prise en compte des transmissions latérales. En conclusion, nous synthétiserons les résultats obtenus pour les différentes configurations étudiées. Les méthodes de calcul prévisionnel semblant les plus adaptées, ainsi que des outils de calcul complémentaires, seront proposés.

1 Introduction

L'objet est de déterminer par des méthodes prévisionnelles l'isolement au bruit aérien entre deux locaux – local d'émission et local de réception –, en fonction des éléments constructifs de ces locaux : nature du séparatif, parois verticales et horizontales des locaux, éléments traversant ou filant.

L'acousticien du bâtiment peut alors ajuster la performance d'affaiblissement acoustique de chacun des éléments, et la nature des différentes jonctions, afin de garantir l'obtention d'un isolement à réception de l'ouvrage.

La présente étude compare les résultats obtenus *in fine*, obtenu par la mesure, aux calculs prédictifs.

2 Eléments théoriques

2.1 Isolement normalisé au bruit aérien : définition

Afin de caractériser l'isolement au bruit aérien entre deux locaux, l'acousticien utilise l'isolement normalisé au bruit aérien, D_{nT} tel qu'il est défini dans la norme NF-S-31-057 relative à la vérification de la qualité acoustique des bâtiments [1] :

$$D_{nT} (dB) = D + 10 \log \frac{T_r}{T_0} \quad (1)$$

D : isolement brut, défini comme la différence entre le niveau de pression acoustique, ou niveau sonore, dans le local d'émission et le niveau sonore dans le local de réception (dB) ;

T_r : durée de réverbération du local de réception (s) ;
 T_0 : durée de réverbération de référence (0,5 s pour un local de volume $V < 50m^3$)

2.2 Chemins de transmission

Les chemins de transmission de l'énergie acoustique entre deux locaux sont regroupés en deux catégories : transmissions directes et indirectes, voir figure 1.

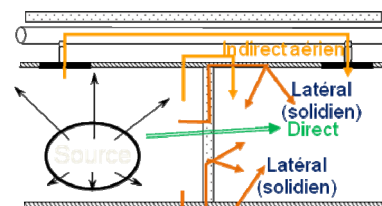


Figure 1 : types de chemins de transmission

Les *transmissions directes* sont dues au rayonnement des éléments de la paroi séparative (cloison, bloc-porte, etc.). Elles sont caractérisées par l'indice d'affaiblissement acoustique R en dB de ces éléments.

Les *transmissions indirectes* comprennent les *transmissions latérales* et les *autres chemins de transmission*. Les transmissions latérales sont des transmissions solidiennes (vibratoires) de l'énergie acoustique au travers des éléments constructifs liés au séparatifs – murs, planchers – qui rayonnent dans le local de réception, voir figure 2. Les autres chemins de transmissions indirectes sont aériens ; il s'agit de "ponts phoniques" au travers des faux-plafonds et faux-plancher

filants, canalisations et gaines, fentes et défauts de mise en œuvre, ...

Les transmissions directes sont modélisées avec précision. La difficulté que rencontrent les acousticiens du bâtiment est la prédiction des transmissions indirectes. Plusieurs méthodes ont été développées pour quantifier ces transmissions.

2.3 Isolement normalisé au bruit aérien : calcul prédictif

Après différentes études [2,3], nous avons retenu quatre méthodes que nous comparons [6].

La première est la *méthode simplifiée*, dite *méthode Hamayon* [4].

Cette méthode est initialement définie pour des constructions en béton, mais est généralisée dans l'usage à tous les types de construction.

Elle applique pour la prise en compte des transmissions latérales un coefficient de réduction a soustrait linéairement à la valeur calculée de l'isolement direct :

$$D_{nT}(dB) = R + 10 \log(0,32 \frac{V}{S}) - a \quad (2)$$

R : indice d'affaiblissement acoustique de la séparatrice (dB) ;

V : volume du local de réception (m^3) ;

S : surface de la séparatrice (m^2)

a : diminution de l'isolement due aux transmissions latérales (dB)

Le calcul de a est donné par la formule :

$$a(dB) = 5 + \frac{S_r}{10} - N \quad (3)$$

S_r : somme des surfaces rayonnantes liées à la séparatrice dans le local de réception (m^2) ; Cette valeur est limitée à $40 m^2$.

N : nombre de parois du local de réception liées à la cloison séparatrice et doublées par un matériau souple.

Le calcul de l'isolement global prenant en compte les éléments filants est alors obtenu par composition des isolements :

$$D_{nTglobal}(dB) = -10 \log(10^{-D_{nT}/10} + \sum_i 10^{-D_{n,i}/10}) \quad (4)$$

D_{nT} : isolement calculé formule (2) (dB) ;

$D_{n,i}$: indice d'isolement des éléments filants (dB).

Exemple : $D_{n,c}$ pour le plafond, $D_{n,f}$ pour le plancher.

La seconde méthode étudiée est une méthode que nous avons appelée *Hamayon expert*, où la valeur du coefficient a est ajusté par l'acousticien en fonction de son expérience, sur la base de la formule (3).

La troisième méthode étudiée est définie par la norme 12354-1 [5]. Les transmissions latérales sont calculées sous forme d'indices d'affaiblissement R_{ij} pour chacune des 4 jonctions entre les parois latérales des locaux d'émission/réception et la paroi séparatrice. Ces indices sont ajoutés logarithmiquement à l'indice d'affaiblissement direct, de façon à calculer l'isolement global, voir équations (5) et (6).

$$D_{nT}(dB) = R_{total} + 10 \log(0,32 \frac{V}{S}) \quad (5)$$

V : volume du local de réception (m^3) ;

S : surface de la séparatrice (m^2)

$$R_{total}(dB) = -10 \log(10^{-R_{Direct}/10} + \sum_{ij} 10^{-R_{ij}/10}) \quad (6)$$

R_{Direct} : indice d'affaiblissement acoustique de la séparatrice (dB) ;

R_{ij} : indices d'affaiblissements latéraux, i correspondant à la paroi côté émission et j côté réception (dB)

Il y a 3 chemins de transmission latérale par jonction, soit 12 chemins au total, voir figure 2.

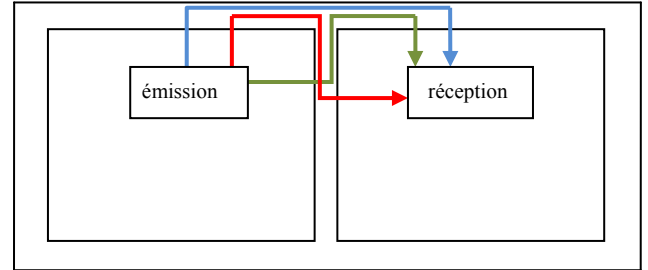


Figure 2 : 3 chemins de transmission par jonction

La norme 12354-1 [5] définit un mode de calcul simplifié des indices d'affaiblissements latéraux à partir des indices d'affaiblissements des différents éléments composant la jonction :

$$R_{ij}(dB) = \frac{R_i}{2} + \Delta R_i + \frac{R_j}{2} + \Delta R_j + K_{ij} + 10 \log(\frac{S}{l_0 \times l_{ij}}) \quad (7)$$

R_i : indice d'affaiblissements de l'élément i (dB)

ΔR_i : correction de R_i en présence d'un doublage (dB)

S : surface de la séparatrice (m^2)

l_0 : longueur de référence (1 m)

l_{ij} : longueur de la jonction entre les éléments i et j (m)

K_{ij} : indice d'affaiblissement vibratoire au niveau des jonctions (dB)

K_{ij} est calculé de façon empirique pour les raccords de type courant en fonction de M , rapport logarithmique entre les masses surfaciques des éléments 1 (parallèle au sens de propagation) et 2 (perpendiculaire au sens de propagation) [5].

Enfin, la norme 12354-1 propose également un mode de calcul spécifique des indices d'affaiblissement des plafonds et planchers filants, en fonction de leur indice d'isolement D_n mesuré en cellule d'essai, et des dimensions des différents éléments des locaux. Cette méthode est présentée dans [5,6].

La quatrième méthode est Acoubat®, développée sous forme de logiciel par le CSTB. Ce logiciel reprend la norme 12354-1 en corrigeant les équations de transmissions au niveau des jonctions par le résultat de nombreuses expériences et comparaisons avec des mesures *in situ*.

3 Comparaison entre prédiction et résultat

3.1 Présentation

Les études [2,6] ont été réalisées sur la base de 50 cas comprenant des bâtiments neufs ou réhabilités, des locaux superposés ou mitoyens, situés ou non en façade, avec présence ou non d'éléments traversant (réseaux) et filant (plafond/plancher), des séparatifs lourds ou légers,

hétérogènes ou homogènes, et ayant fait l'objet ou non d'un suivi de réalisation par l'acousticien.

Nous analysons dans un premier temps l'ensemble des résultats, avant d'effectuer des analyses par critère. Naturellement, les conclusions qui en sont tirées doivent être considérées comme des tendances compte tenu de l'échantillon qui est de 50 cas.

Nous présentons les résultats obtenus avec la norme 12354-1 uniquement pour comparaison avec Acoubat®. En raison de performances moins intéressantes, les résultats de la norme ne sont pas pris en compte dans les analyses présentées.

3.2 Analyse générale par bande d'octave

L'ensemble des méthodes tend à surestimer l'isolement d'environ 2 dB par rapport à la valeur mesurée, voir figure 3. Notons que la valeur globale de l'isolement, $D_{nT,A}$, calculée selon la norme [7], est pilotée dans les cas étudiés par la performance autour de 250 Hz pour laquelle l'incertitude prédictive est de cet ordre.

Cette surestimation de l'isolement, tout comme l'écart-type, augmente avec la fréquence quelle que soit la méthode de calcul retenue. Ce constat laisse à penser que les incertitudes de mise en œuvre jouent un rôle important dans l'erreur de prédiction. En effet, les défauts de réalisation sont souvent des problèmes de jonction entre les différents éléments, soit physiquement des fentes. Or, les fentes privilégient une perte de l'isolement aux hautes fréquences [8,9].

Par ailleurs, sur un cas particulier plus précis, une étude a montré que la position du vissage des plaques de plâtre cloisons légères simples influe jusqu'à 5 dB sur la performance d'affaiblissement dans les fréquences supérieures à 2000 Hz [10].

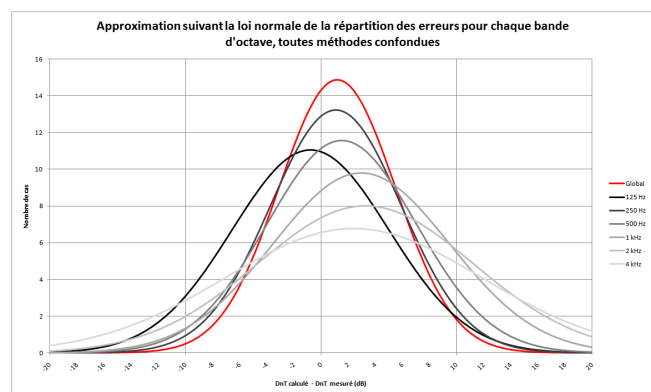


Figure 3 : répartition des erreurs par bande d'octave, toutes méthodes confondues

3.3 Analyse générale par méthode

Le graphique ci-dessous, figure 4, présente pour les différentes méthodes – Hamayon, Hamayon expert, Acoubat® et Norme 12354 – les erreurs prédictives et les écarts types en valeur globale ($D_{nT,A}$).

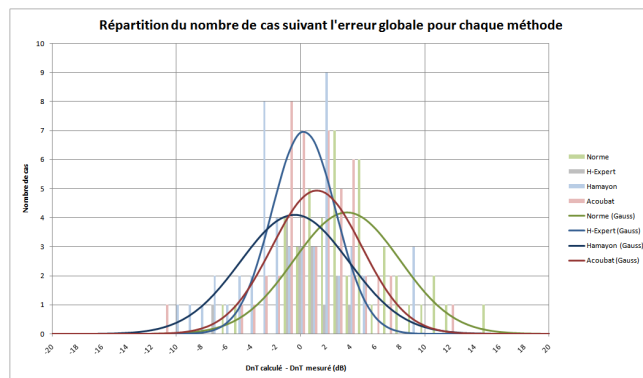


Figure 4 : répartition des erreurs en valeur globale selon les méthodes

La méthode Hamayon expert est celle qui présente les meilleurs résultats ; cependant, seuls 15 cas ont été testés et cette conclusion se doit d'être confirmée. L'écart type est nettement meilleur qu'avec la méthode Hamayon simple. Aussi, la méthode Hamayon, développée à la base uniquement pour des constructions lourdes, peut être extrapolée à d'autres types de constructions, moyennant le savoir-faire de l'acousticien dans l'estimation du coefficient a .

Limitée dans l'étude des configurations, la méthode Acoubat® est parfois un peu trop rigide pour être appliquée à des cas "exotiques". Elle tend globalement à surestimer l'isolement, mais les corrections apportées dans cette méthode par rapport à la norme 12354-1 semblent porter leurs fruits : réduction importante de l'erreur moyenne qui passe de 4 à 1,5 dB.

3.4 Bâtiment neuf ou réhabilité

Les figures 5 et 6 ci-dessous présentent respectivement pour les bâtiments neufs (23 cas) et les bâtiments réhabilités (21 cas) la répartition des erreurs et écarts types par bande d'octave et en valeur globale, selon les méthodes :

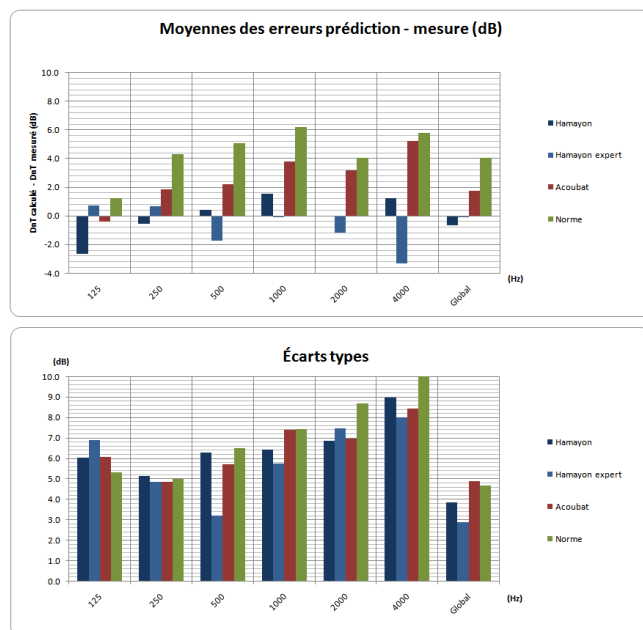


Figure 5 : Bâtiments neufs

Pour les bâtiments neufs, les méthodes Hamayon et Hamayon expert donnent les résultats les plus proches de la mesure, avec une erreur prédictive tendant vers 0. L'écart

type est cependant élevé pour toutes les méthodes, et augmente avec la fréquence. On notera que les bâtiments neufs étudiés sont principalement des bureaux avec plateaux recloisonnés.

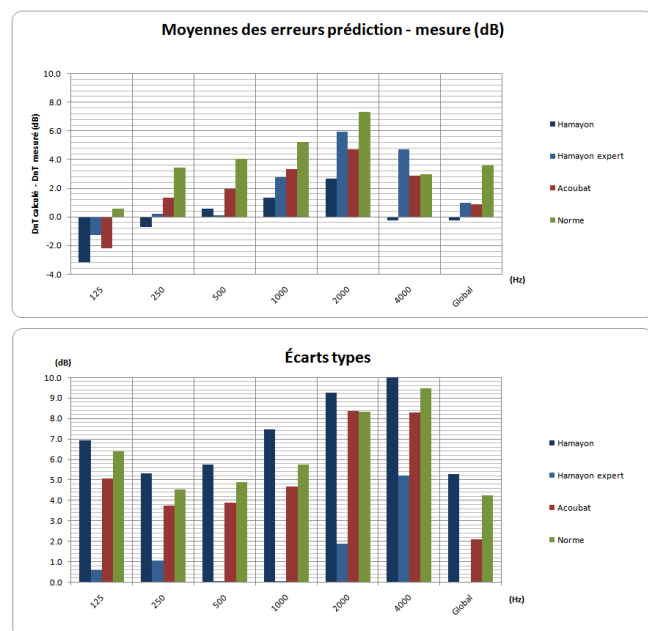


Figure 6 : Bâtiments réhabilités

Pour les bâtiments réhabilités, Acoubat® donne les résultats les plus fiables car elle est la méthode qui maîtrise le mieux l'écart type. Notons que les écarts type élevés sont liés à une connaissance partielle de la composition des parois dans le cadre d'une réhabilitation.

3.5 Importance du suivi de chantier

Nous avons distingué les bâtiments pour lesquels nous avons effectué un suivi de chantier succinct ou nul – 0 à 2 visites de chantier (25 cas) – des bâtiments pour lesquels la présence de l'acousticien était plus importante lors du chantier – 3 visites et plus (25 cas).

Les figures 7 et 8 ci-dessous présentent les mêmes grandeurs que précédemment, pour ces deux cas.

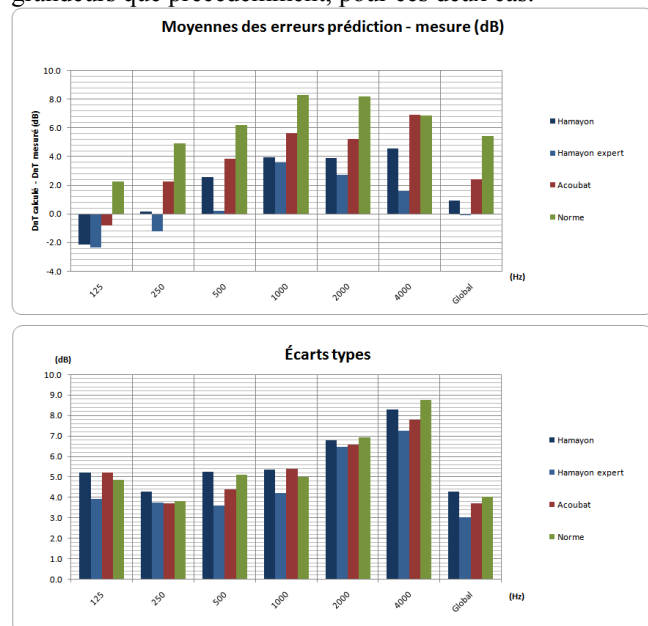


Figure 7 : 0 à 2 visites de chantier

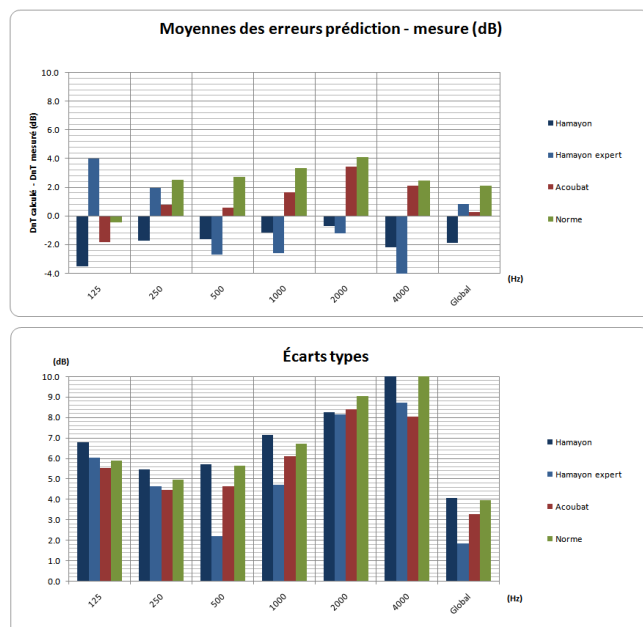


Figure 8 : plus de 3 visites de chantier

On note que les écarts types restent importants dans les deux cas. Par contre, l'erreur prédictive est nettement mieux maîtrisée dans le cas où le suivi de chantier de l'acousticien est plus important. Cet aspect apparaît de façon très nette dans les analyses par bande d'octave, et en particulier pour la méthode Hamayon.

On nuancera cette conclusion pour la méthode Hamayon expert. Ceci s'explique par le fait que cette méthode prend en compte l'expérience de l'acousticien dans la prise en compte des transmissions indirectes et peut donc intégrer empiriquement les difficultés liées à la nature du chantier.

Cette analyse fait ressortir l'importance des défauts de mise en œuvre dans la perte de l'isolement, et l'impact de l'acousticien sur le chantier pour la maîtrise de la performance finale. On peut penser que cet impact est dû à une visualisation directe des défauts techniques sur site, ainsi qu'à une prise de conscience des sujets acoustiques par les acteurs du chantier – entreprises, pilote de chantier, etc.

3.6 Nature de la cloison séparatrice

Nous avons distingué quatre types de parois : lourdes (béton, maçonnerie), légères (plaques de plâtre), amovibles (cloisons démontables des plateaux de bureaux) et mobiles (cloisons avec panneaux sur rails). Les résultats nous ont amené à regrouper ces cloisons en deux catégories : fixe (lourd ou léger, 38 cas) et non fixe (amovible ou mobile, 8 cas).

Les figures 9 et 10 ci-dessous présentent les mêmes grandeurs que précédemment, pour ces deux catégories.

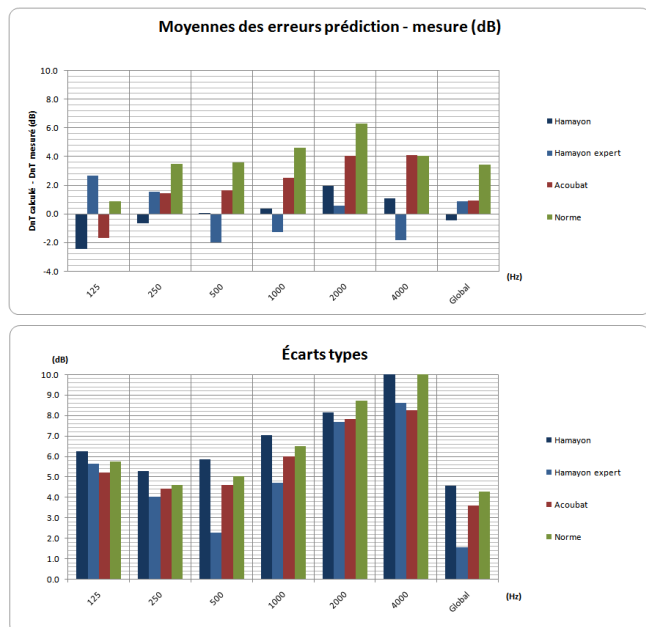


Figure 9 : séparatifs fixes (lourds ou légers)

Il n'y a pas de distinction importante entre les méthodes Acoubat® et Hamayon compte tenu d'un écart type élevé pour les séparatifs fixes. On notera que la performance globale est pilotée par les valeurs à 250 Hz.

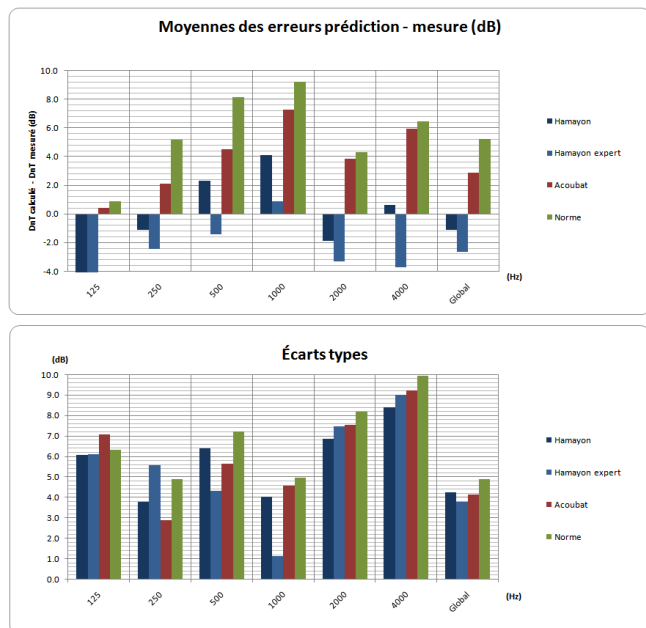


Figure 10 : séparatifs non fixes (amovibles ou mobiles)

On retrouve des écarts types élevés pour les cloisons non fixes, et plus élevés autour de 1000 Hz. Concernant l'erreur systématique, les méthodes Hamayon paraissent plus adaptées et plus "prudentes".

3.7 Cloison séparatrice hétérogène

Il s'agit d'étudier le cas d'une cloison composée de plusieurs éléments dont les performances d'affaiblissement acoustique sont disparates : portes, fenêtres, etc. Nous l'appellerons cloison hétérogène.

Les figures 11 et 12 ci-après présentent les mêmes grandeurs que précédemment respectivement pour les cloisons homogènes (37 cas) et hétérogènes (9 cas).

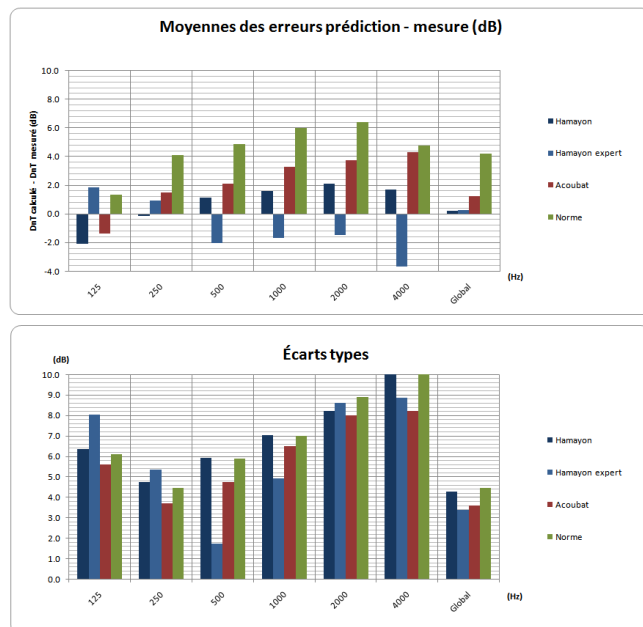


Figure 11 : séparatifs homogènes

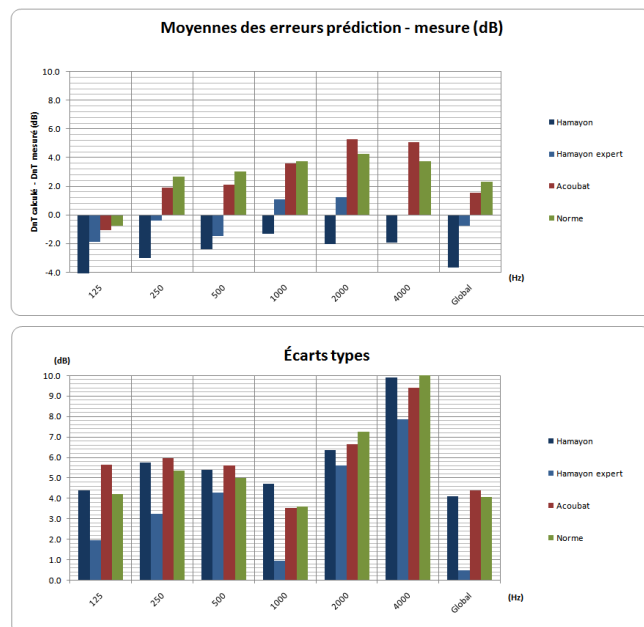


Figure 12 : séparatifs hétérogènes

La conclusion à tirer de ces cas est que la méthode Hamayon n'est pas adaptée lorsque la paroi séparative est hétérogène avec un élément faible. En effet, dans un tel cas, la transmission directe via l'élément faible devient prépondérante devant les transmissions latérales. Or, la méthode Hamayon prend en compte les transmissions latérales de façon linéaire, voir équation (2), d'où l'erreur obtenue.

Une composition logarithmique des différents chemins de transmission, telle qu'effectuée par la norme 12354-1 et Acoubat®, permet d'éviter cette erreur.

3.7 Locaux en façade

Nous avons étudié également l'influence de la façade lorsque les locaux sont situés ou non le long de celle-ci [6].

La seule différence qui est apparue concerne la méthode Acoubat® qui n'est pas adaptée aux locaux sans façade. En effet, le logiciel impose la présence d'au moins une façade.

Pour les méthodes Hamayon, il n'y a pas de différence entre les deux configurations.

3.9 Traversée de réseaux hydrauliques – réflexion sur les transmissions indirectes aériennes

Les cloisons séparatives peuvent être traversées par des réseaux hydrauliques.

Une étude de 32 cas [2] a mis en évidence que si l'on ne prend pas en compte ces réseaux, l'erreur, sur l'échantillon étudié, est de l'ordre de 3 dB, quelle que soit la méthode de calcul.

Nous avons développé un outil de calcul sur la base des données issues de l'ASHRAE [11], que nous appellerons "Break in/Break out" [6]. Le principe est de calculer un isolement équivalent du réseau, $D_{n,e}$, et de le composer avec l'isolement calculé pour les autres chemins de transmission. Notons que ne pouvant intégrer cet élément extérieur au logiciel Acoubat®, nous avons testé cet outil avec la méthode Hamayon.

Nous avons à ce jour étudié un seul cas pratique : celui de deux locaux séparés par une cloison légère fixe, avec une gaine électrique traversante, et une fuite au niveau de la jonction cloison/plafond.

Nous avons composé les éléments suivants :

- l'isolement calculé selon la méthode Hamayon
- l'isolement équivalent de la gaine calculé selon la méthode "Break in/Break out"
- l'isolement équivalent de la fuite calculé selon un outil développé d'après [8,9]

Les premiers résultats sont encourageants, les valeurs aux hautes fréquences étant bien corrigées par les termes liés à la fuite et au "Break in/Break out". Cependant, ces résultats se doivent d'être confirmés par d'autres cas pratiques. La tendance observée nous laisse penser qu'il est certainement possible de quantifier avec une incertitude acceptable les différentes transmissions indirectes aériennes. Un travail en ce sens doit être approfondi.

Conclusion

Nous avons mis en évidence une erreur prédictive de l'ordre de 2 dB en valeur globale sur les 50 cas étudiés, avec une dispersion plus importante en hautes fréquences.

En catégorisant les échantillons étudiés, nous avons observé des tendances : une augmentation du suivi de chantier par l'acousticien se traduit par une meilleure corrélation prédiction/résultat, la valeur de l'isolement global est souvent pilotée par la valeur à 250 Hz, quelle que soit la configuration.

Nous avons également montré que certaines méthodes sont parfois plus adaptées : Hamayon et Hamayon expert pour les bâtiments de bureaux recloisonnés et pour les locaux hors façade, Acoubat® pour les séparatifs hétérogènes. Il conviendrait par la suite d'étoffer ces tendances par un nombre plus important de cas étudiés.

Il faudra également mener en parallèle une étude sur les incertitudes de mesures afin de déterminer la reproductivité et la répétabilité des mesures, car la valeur mesurée constitue la base de l'étude menée.

On travaillera aussi à renforcer les outils de calcul des réseaux filants, et des transmissions indirectes aériennes.

L'objectif est d'obtenir à terme une incertitude prédictive inférieure à l'incertitude de mesure. De façon optimiste, nous pensons qu'un travail de développement sur

ces outils de calcul simples, couplé à un suivi de chantier conséquent, doit permettre d'atteindre cet objectif.

Références

- [1] Norme NF-S-31-057 relative à la vérification de la qualité acoustique des bâtiments
- [2] P. Schmidt, Isolements aux bruits aériens, Quantification empirique des incertitudes prévisionnelles et analyse théorique, *Acoustique et Conseil* (2008)
- [3] F. Garti, Etude des transmissions latérales dans le bâtiment, *Acoustique et Conseil* (2002)
- [4] L. Hamayon, Réussir l'acoustique d'un bâtiment, 2^{ème} édition, *Le Moniteur* (2006)
- [5] Norme NF-EN-12354-1 relative au Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments, partie 1 : isolement acoustique aux bruits aériens entre locaux (avril 1999)
- [6] C. Séjourné, Isolement au bruit aérien, Incertitudes quant aux méthodes prévisionnelles, Analyse théorique et empirique de la transmission d'une gaine, *Acoustique et Conseil* (2009)
- [7] Norme NF-EN-ISO-717-1 relative à l'évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction, partie 1 : isolement aux bruits aériens (août 1997)
- [8] M.C. Gomperts, The sound insulation of circular and slit-shaped apertures, *Acustica* 14(1), 1-16 (1964)
- [9] M.C. Gomperts, The sound insulation of circular and slit-shaped apertures, *Acustica* 18, 144-150 (1967)
- [10] H. Muellner, I. Plotizin, How "secondary" details of the construction and workmanship effect the airborne sound insulation of plasterboard walls, *Internoise* 2001, The Hague, Netherlands
- [11] American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE) Handbook