

16ème Congrès Français d'Acoustique

Le Mans, 11-15 Avril 2016

Impact de la prise de compte des bandes de tiers d'octave 50, 63 et 80 Hz dans les prévisions d'isolement au bruit aérien

Julien Leroy jl@acoustique-conseil.com, Thierry Simoneau ts@acoustique-conseil.com

ACOUSTIQUE & CONSEIL 9 rue de la Carraire 13770 Venelles

La révision de la norme ISO 717-1 a été envisagée au niveau européen. Elle porte sur la méthode de calcul de l'indice d'évaluation, et propose l'extension du spectre en intégrant les bandes de tiers d'octave 50, 63 et 80 Hz. Les acousticiens engagent leur responsabilité à travers leurs prescriptions. Une réflexion est donc nécessaire sur les conséquences de l'intégration des basses fréquences. La non-validité de l'hypothèse de diffusion homogène et le comportement des parois en basses fréquences sont les principaux points d'interrogation. Pour des géométries simples, la répartition modale par bande de tiers d'octave peut être caractérisée. Une bonne concordance est obtenue entre les prédictions et les mesures in-situ. L'étude de cas simples montre que, malgré de fortes disparités de niveaux sonores et un impact important sur les différences de niveaux entre pièces par bande de tiers d'octave, l'impact de la répartition modale sur les valeurs globales est relativement faible. Par ailleurs, hormis certaines situations défavorables, proches des parois, la prise en compte de la répartition modale conduit à des valeurs de différence de niveaux supérieures ou égales à la valeur calculée en champ diffus. En dehors des considérations de couplages, la méthode de calcul basée sur l'hypothèse de diffusion homogène, bien que non représentative des comportements physiques en jeu, reste donc une approche valide en basses fréquences dans la mesure où des précautions sont prises sur la caractérisation de l'indice d'affaiblissement du séparatif. Ces précautions concernent premièrement la garantie de la fiabilité des données d'entrées et de la possibilité de les adapter aux conditions de site. En tout état de cause, l'état de l'art est encore trop flou pour appliquer un nouvel indicateur intégrant les basses fréquences et de régler sur cette base.

1. Introduction

Les bureaux d'étude en acoustique engagent leur responsabilité sur l'atteinte des objectifs de confort acoustique des ouvrages sur lesquels ils travaillent. Il est donc indispensable de maîtriser les données d'entrées, les calculs et les indicateurs qui s'y rapportent. Cette maîtrise a été remise en question, dans le cadre de la révision de la norme ISO 717-1, par la volonté d'intégrer systématiquement des bandes de tiers d'octave 50, 63 et 80 Hz. Cette révision a depuis été abandonnée. Néanmoins, le sujet reste posé : est-il possible d'intégrer ces basses fréquences ? Quelles en seraient les conséquences du point de vue des bureaux d'études ?

L'approche présentée ici sur cette question se limite à l'étude de cas d'isolement au bruit aérien dans des logements.

La norme ISO 717-1 définit la méthodologie permettant d'exprimer la performance d'un séparatif ou l'isolement entre deux locaux en un indicateur global, ou indice d'évaluation, à partir de valeurs décrites par bande de tiers d'octave. La révision de cette norme a été envisagée au niveau européen dans le but de simplifier et harmoniser les indicateurs et d'éventuellement les améliorer afin de mieux tenir compte de la perception humaine.

Dans le même temps, une volonté de développement des constructions légères, notamment à base de bois, a émergé. La forte transmission des bruits de chocs notamment dans les fréquences les plus basses a été identifiée comme un frein au développement de ce mode constructif.

L'intégration des bandes de tiers d'octave 50, 63 et 80 Hz est apparue comme logique, sans toutefois distinguer le bruit de choc et le bruit aérien alors que ce dernier critère n'apparaît vraisemblablement pas spécifiquement représentatif d'une augmentation de la gêne perçue dans les bâtiments.

Acoustique & Conseil a étudié les conséquences de l'intégration de ces bandes fréquentielles sur la base de cas simples afin de se forger un avis sur la position à tenir en tant que bureau d'étude.

2. Problématiques théoriques

2.1. Non validité de l'hypothèse de diffusion homogène en régime stationnaire

Un volume fermé, tel qu'une salle parallélépipédique, fait l'objet de présence d'ondes stationnaires donnant naissance à des modes de salles. Ces modes sont liés à la coïncidence entre les dimensions du local et la longueur d'onde du champ de pression acoustique. Aux fréquences concernées, le champ de pression acoustique présente une répartition très hétérogène, pouvant conduire à des variations de niveau de l'ordre de 20 dB entre un nœud et un ventre.

Les postulats de calculs utilisés actuellement en bureaux d'étude dans le cadre d'un dimensionnement d'ouvrages en acoustique du bâtiment, sont basés sur les notions d'acoustique statistiques c'est-à-dire sur le postulat d'une diffusion homogène dans le volume.

SCHROËDER a proposé une expression de la limite théorique permettant de valider la présence d'un champ diffus. On parle de fréquence de coupure définie par (1) :

$$f_c = 2000 \sqrt{\frac{TR}{V}} \quad (1)$$

Le graphique en figure 1 montre qu'actuellement l'hypothèse de diffusion homogène, sur la base de l'expression de la fréquence de coupure de SCHROËDER, n'est pas respectée dans une majorité de cas courants.

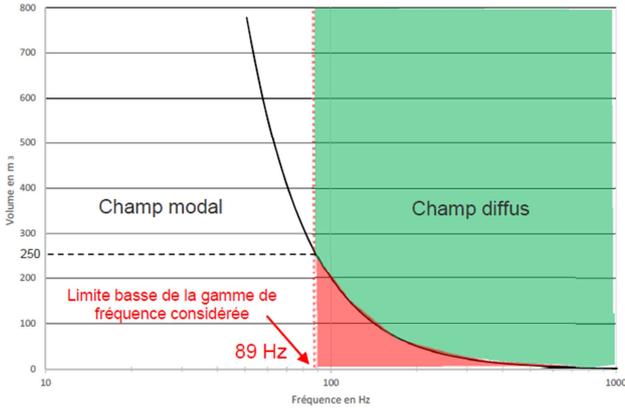


Fig. 1 : Limite champ modal / champ diffus.

En effet, pour une durée de réverbération de 0.5 seconde, l'hypothèse de diffusion au sens de SCHROËDER n'est strictement atteinte que dans les cas de locaux présentant un volume supérieur à 250 m³, soit plus de 100 m² au sol si l'on considère une hauteur sous-plafond de 2.5 m. L'hypothèse que les 10 premiers modes d'une salle sont les plus marqués et les plus influents sur la répartition modale par bandes de tiers d'octave a été faite.

La définition de SCHROËDER ne permet pas de définir la fréquence en-dessous de laquelle le champ de pression est fortement marqué par la présence d'une répartition modale. Il a donc été proposé de travailler sur l'expression de cette fréquence limite à partir de l'expression non simplifiée de la densité modale et en retenant un indice de recouvrement modal plus faible. L'indice de recouvrement modal caractérise l'écart entre deux pics modaux successifs. Un indice de recouvrement modal plus faible correspond à un écart plus important entre deux pics.

La valeur de recouvrement $m = 1$ est proposée et permet de caractériser les 10 premiers modes d'une salle et donc d'identifier les bandes de tiers d'octave présentant une répartition modale marquée.

Cette observation a été validée expérimentalement par la réalisation de mesures (maillage de points tous les 40 cm à 1.5 m de hauteur).

La figure 2 présente le nombre de modes par bandes de tiers d'octave, en dessous de la fréquence limite définie sur la base du critère $m = 1$ pour un local de dimensions 4 m × 3.4 m × 2.8 m.

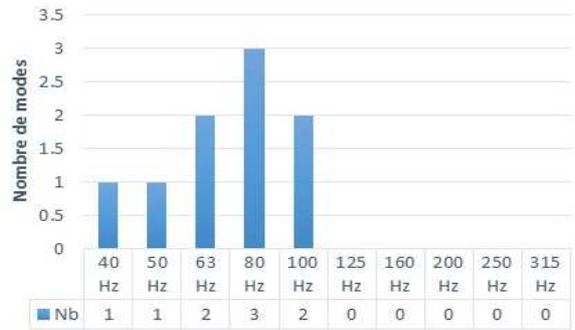


Fig. 2 : Nombre de modes par bandes de tiers d'octave, en dessous de la fréquence limite.

La figure 3 présente les résultats de mesure et confirme l'observation de répartition modale marquée jusque dans la bande de tiers d'octave dans laquelle se situe la limite définie.

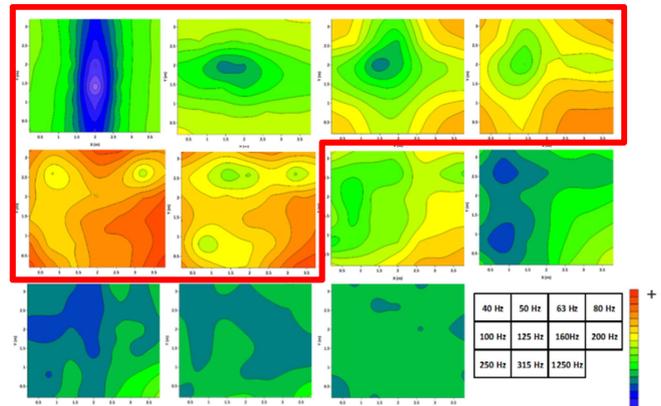


Fig. 3 : Visualisation des modes de salle par bande de tiers d'octave.

Sur ce constat, il est possible de mettre en place un outil simple permettant de décrire la répartition géométrique du champ modal marqué dans un local parallélépipédique. Ce calcul repose sur l'équation (2), considérant que la pression quadratique dans la bande de tiers d'octave considérée est égale à la sommation des contributions énergétique dans la bande considérée.

$$p(x, y, z) = A \cos\left(\frac{l\pi}{x} x\right) \times \cos\left(\frac{m\pi}{y} y\right) \times \cos\left(\frac{n\pi}{z} z\right) \quad (2)$$

La figure 4 présente les résultats de mesure du niveau de pression obtenus par maillage dans deux locaux contigus. L'émission d'un bruit rose est effectuée dans le local se trouvant en partie gauche du graphique. La réception est réalisée dans le local se trouvant en partie droite. La bande de tiers d'octave concernée est celle centrée sur 63 Hz.

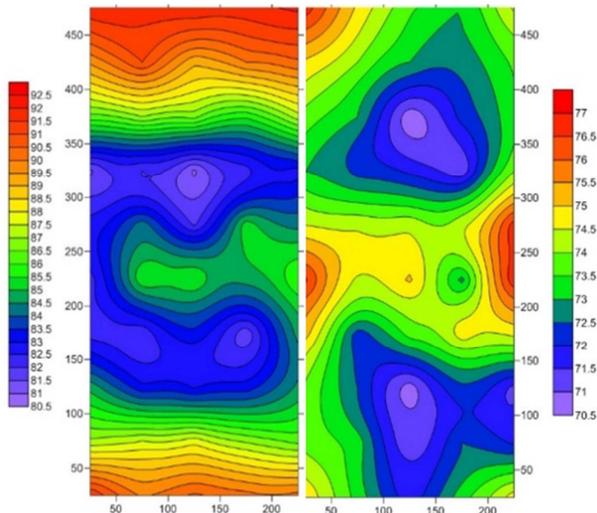


Fig. 4 : Mesures par maillage du niveau sonore dans deux locaux adjacents : émission à gauche - réception à droite dans la bande de tiers d'octave centrée sur 63 Hz.

La figure 5 présente la répartition modale théorique, estimée à l'aide de la méthode proposée, à 1.5 m du sol, dans la bande de tiers d'octave centrée sur 63 Hz.

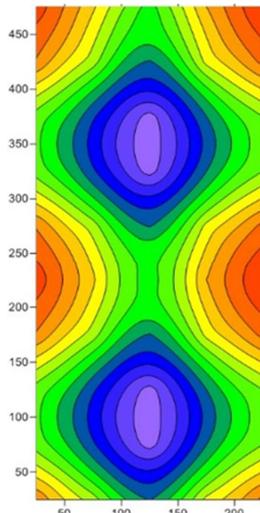


Fig. 5 : Estimation du niveau sonore dans la bande centrée sur 63 Hz.

Les figures 4 et 5 montrent que la répartition calculée est, à l'influence de la position de source près, conforme aux répartitions mesurées.

La méthode proposée permet également le calcul du nombre de modes marqués par bande de tiers d'octave. On constate à la lecture du tableau A que, dans le domaine fréquentiel actuellement considéré, la présence de modes marqués est avérée uniquement dans les cas de pièces de petite surface au sol, type chambre et est généralement limité à la bande de tiers d'octave centrée sur 100 Hz.

L'extension du domaine fréquentiel conduit à donc rendre systématique l'intégration de bandes de tiers d'octave contenant des modes très marqués, s'agissant des premiers modes du local.

Bande de tiers d'octave	Surface de la pièce			
	10,5 m ²	12 m ²	17 m ²	20 m ²
50 Hz	1	-	1	1
63 Hz	2	3	3	2
80 Hz	3	3	3	3
100 Hz	2	3	1	-
125 Hz	3	-	-	-
160 Hz	-	-	-	-
200 Hz	-	-	-	-
250 Hz	-	-	-	-

Tab. A : Nombre de modes marqués pour différentes surfaces au sol de locaux.

2.2. Non validité de l'hypothèse de diffusion homogène en régime transitoire

Outre les mesures de niveaux de pression en régime stationnaire, les textes réglementaires et les normes exigent des mesures normalisées à une durée de réverbération. Or, dans les basses fréquences, l'extinction du champ modal conduit à la présence de « lobes » affectant la décroissance du niveau de pression acoustique et rendent impossible la caractérisation d'une durée de réverbération (cf. figure 6). En effet, le concept de durée de réverbération n'a pas de sens qu'en champ diffus.

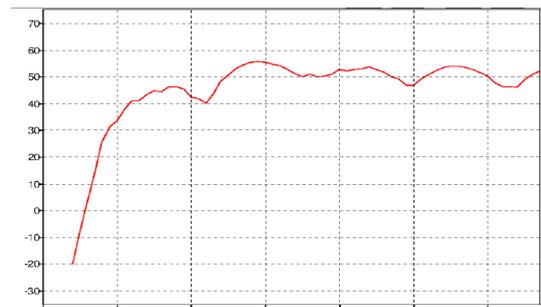


Fig. 6 : Tentative de mesure de décroissance du niveau de pression dans un local dans le domaine modal

2.3. Comportement des séparatifs en basses fréquences

Cloisons simple : fréquence de flexion / coïncidence

La fréquence de flexion d'une paroi simple présentant des limites parfaitement rigides est définie par (3) :

$$f_p = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B}{m_s} \left[\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right]} \quad (3)$$

La paroi rayonne un maximum d'énergie et entre en résonance lorsque cette fréquence est excitée. L'affaiblissement de la paroi chute donc de manière marquée si la fréquence d'excitation est proche de la résonance de la paroi.

Le tableau B ci-après présente la fréquence fondamentale de flexion d'une paroi de dimension 4,0 x 2,5 m en fonction du matériau qui la compose et de son épaisseur. Les valeurs entrant dans le domaine de fréquence actuel (100 Hz - 5000 Hz) sont affichées en rouge. Les valeurs entrant dans le domaine fréquentiel étendu en basses fréquences (50 Hz - 5000 Hz) sont affichées en orange.

paroi de dimensions 4m x 2,5m									
Béton		Parpaing creux		Plâtre		Verre		Bois OSB	
e (cm)	f _p (Hz)	e (cm)	f _p (Hz)	e (cm)	f _p (Hz)	e (mm)	f _p (Hz)	e (mm)	f _p (Hz)
5	44	7	60	1,25	5	4	5	18	23
10	88	10	85	2,5	10	10	13	36	46
16	140	15	128	5	20				
20	176	20	170	10	40				

Tab. B : Nombre de modes marqués pour différentes surfaces au sol de locaux.

La fréquence fondamentale de flexion est très basse pour les parois légères (plâtre, bois, verre...) et se trouve en dessous du domaine fréquentiel considéré. Pour les matériaux lourds en revanche, l'ordre de grandeur de la fréquence de flexion se trouve dans la gamme de fréquence prise en compte (avec ou sans extension en basses fréquences).

Cloisons double : fréquence masse air masse

Une double paroi présente une fréquence de résonance, pour laquelle l'affaiblissement chute. Cette fréquence de résonance est définie par (4) :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho_0 c^2}{d} \left(\frac{1}{\rho_{s1}} + \frac{1}{\rho_{s2}} \right)} \quad (4)$$

Avec :

- ρ_{s1} et ρ_{s2} : masses surfaciques des parements,
- ρ_0 : masse volumique de l'air,
- d : distance entre les parements.

Généralement, les industriels accordent cette fréquence afin qu'elle se situe en dehors de la gamme fréquentielle prise en compte.

Les tableaux C et D ci-dessous présentent les fréquences de résonance de doubles parois courantes à base de plaques de plâtre sur ossatures métalliques.

Parement 1	1x18	1x13	1x18	2x13	1x18	1x15	2x13	1x15	1x15	2x13	2x13
Parement 2	1x18	1x13	1x18	2x13	1x18	1x15	2x13	1x15	1x15	2x13	2x13
Désignation	72/36	72/48	84/48	98/48	98/62	100/70	120/70	120/90	130/100	140/90	150/100
d (mm)	36	48	48	48	62	70	70	90	100	90	100
f ₀ (Hz)	114	120	100	85	87	88	70	77	73	62	59

Tab. C : Fréquences de résonance de doubles parois à simple ossature.

Parement 1	2x13				3x13			
Parement 2	2x13				3x13			
Désignation	SAA 120	SAA 140	SAA 160	SAD 180	SAD 200	SAD 180	SAD 220	SAD 260
d (mm)	70	90	110	118	138	105	145	185
f ₀ (Hz)	70	62	56	50	46	47	40	35

Tab. D : Fréquences de résonance de doubles parois à double ossature.

A l'exception des cloisons de type 72/36, 72/48 et 84/48, les fréquences de résonance des doubles cloisons légères courantes sont inférieures à la fréquence basse de la gamme fréquentielle actuellement utilisée (100 Hz - 5000 Hz). On constate que la fréquence de résonance de l'ensemble des cloisons intervient dans le domaine de fréquences (50 Hz - 100 Hz) à l'exception des plus lourdes et épaisses (SAD 220 et SAD 260).

2.4. Couplage salle / paroi / salle

Deux locaux séparés par une paroi forment un système couplé constitué de 3 éléments : la salle d'émission, le séparatif et la salle de réception. Chaque élément peut entrer en résonance sur ses fréquences naturelles, ou répondre en mode forcé à l'excitation. Le local d'émission est excité par la source, la paroi est excitée par le champ de pression régnant dans le local d'émission, et enfin, le local de réception est excité par le champ de pression rayonné par la paroi. Cependant, les outils et le temps disponibles en bureaux d'étude ne permettent pas d'aborder ce principe dont l'influence sur le comportement du séparatif sont pourtant non négligeables.

2.5. Non indépendance des chemins de transmission en dessous de la fréquence critique

De récentes études montrent qu'au-dessous de la fréquence critique des matériaux constituant les murs et planchers d'un bâtiment, l'hypothèse d'indépendance des chemins de transmission n'est plus valide. Dans le cas des transmissions latérales, le comportement vibro-acoustique se complexifie et les transmissions résonantes et forcées sont liées, du fait de l'existence de couplages.

La prévision des transmissions latérales dans la gamme (50 Hz - 100 Hz) s'avère donc aujourd'hui extrêmement délicate.

3. Problématiques rencontrées par les bureaux d'étude

3.1. Estimation de l'indice d'affaiblissement d'un séparatif

Pour le dimensionnement d'un séparatif dans le cadre de l'étude acoustique de conception d'un bâtiment, les bureaux d'étude s'appuient sur son indice d'affaiblissement comme donnée d'entrée. Cette donnée peut être issue de procès-verbaux d'essai en laboratoire ou être calculée.

Les mesures en laboratoires sont soumises aux mêmes contraintes de non validité de l'hypothèse de diffusion homogène. En effet, bien que des efforts soient réalisés pour limiter ce phénomène par l'apport de diffusion notamment, la fréquence de coupure des cellules d'essais de laboratoire est généralement supérieure à 150 Hz. La présence d'un champ modal ne permet pas de garantir des résultats exempts de biais de mesures en basses fréquences.

Par ailleurs, les dimensions de l'échantillon peuvent varier, ceci entraîne des modifications du comportement du séparatif. Ceci est confirmé par les comparaisons de mesures d'indice d'affaiblissement réalisées dans différents laboratoires, les disparités inter laboratoire à 50 Hz sont très importantes (cf. figure 7).

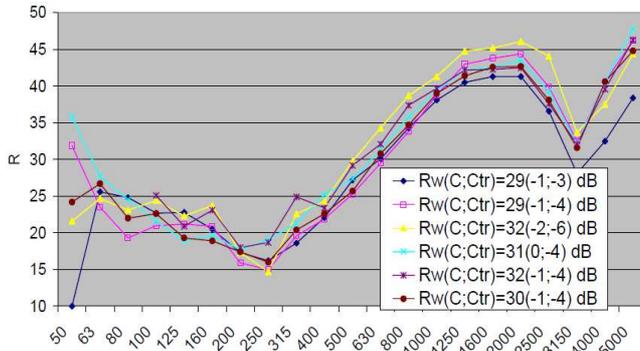


Fig. 7 : Indice d'affaiblissement d'un double vitrage mesuré dans six laboratoires différents (source : SGG).

Le caractère fini des dimensions de l'échantillon ne permet pas d'anticiper son comportement in situ, lorsque les dimensions diffèrent de l'échantillon testé.

Lorsque le PV d'essai n'est pas disponible, il est possible d'utiliser des valeurs d'indice d'affaiblissement obtenues par la réalisation de calcul. L'approche par matrices de transfert avec fenêtrage spatial permet une approche théorique satisfaisante. Néanmoins ces modèles sont très sensibles aux données d'entrée qui y sont injectées et un « calibrage » des modèles est nécessaire afin de les valider. Ce calibrage s'effectue par comparaison à des valeurs issues de PV d'essais qui comportent forcément des biais de mesures.

L'estimation par la mesure ou le calcul de l'indice d'affaiblissement d'un séparatif dans la gamme (50 Hz - 100 Hz) s'avère donc incertaine.

3.2. Prédiction de l'isolement au bruit aérien entre locaux

L'objectif réglementaire, ou issus de référentiels, est exprimé en France par l'isolement au bruit aérien $D_{nT,A}$. Il s'agit d'une valeur unique, basée sur la différence de niveaux entre le local d'émission et le local de réception, et normalisée à la durée de réverbération du local de réception.

Or, en présence d'un champ modal, compte tenu de la disparité de niveaux de pression, la différence de niveaux entre deux locaux dépend du couple de points Emission/Réception retenu.

De ce fait, retenir un indicateur global n'a donc pas de sens physique. Une distinction doit être faite entre l'isolement au bruit aérien en champ diffus et la différence de niveaux en champ modal. L'exprimer par un seul indicateur n'a pas de signification physique.

On notera que les outils de calculs d'isolement au bruit aérien basé sur la norme NF EN ISO 12354 reposent sur les notions d'acoustique statistique et ne tiennent donc pas compte du comportement modal des locaux.

3.3. Mesures de l'isolement au bruit aérien entre locaux

Comme précisé ci-dessus, en champ modal, la différence de niveaux entre deux locaux dépend du couple de points Emission/Réception retenu.

Dans l'exemple présenté en figure 8, issue de mesures par maillage du niveau de pression dans deux locaux adjacents, les points noirs représentent le couple de points le plus défavorable.

Inversement les points blancs représentent le cas le plus favorable, celui-ci consistant à retenir le niveau maximal en émission (à gauche) et minimal en réception (à droite).

Le nuage de valeurs de différence de niveaux de pression observable dans ce local, en fonction du choix des points apparaît sur le graphique en figure 9.

Les limites hautes et basses de ce nuage représentent les cas limites évoqués ci-dessus. Les courbes intermédiaires correspondent à des positions de mesures normatives (NFS 31 057, ISO 10052, NF EN 140-4).

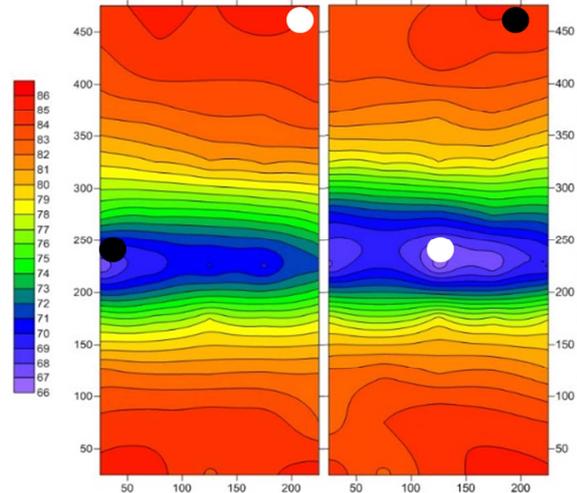


Fig. 8 : Niveau de pression mesuré selon un maillage régulier dans deux petits locaux contigus, lors de l'émission d'un bruit rose (à gauche).

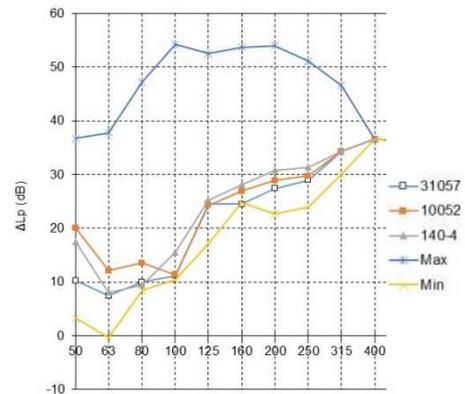


Fig. 9 : Valeurs de la différence de niveaux sonores pour différentes méthodes de mesure, incluant le couple de point le plus favorable et le couple le plus défavorable.

Ces analyses mettent clairement en évidence la grande disparité de valeurs que peut prendre l'isolement entre deux locaux dans les basses fréquences selon la méthode de mesurage retenue.

Le calcul des différents indices d'évaluation actuels des et indicateurs proposés dans le cadre de la révision de la norme ISO 717-1 a été effectué sur la base de ces valeurs. Les résultats sont présentés dans le tableau E. A partir de 400 Hz il n'a été considéré aucune différence entre les isolements obtenus bruts.

Selon les méthodes de mesurage, les différences de 3 dB sont observés entre méthodes normatives, 8 dB entre méthode normatives et min/max modaux et jusqu'à 16 dB entre les cas extrêmes min et max modaux.

Méthode de mesure	Gamme actuelle (100-3150 Hz)			Gamme étendue (50-5000 Hz)				
	$D_{nT,w}$	$D_{nT,w} + C$	$D_{nT,w} + C_{tr}$	$D_{nT,w}$	$D_{nT,w} + C$	$D_{nT,w} + C_{tr}$	$D_{n,living}$	$D_{n,traffic}$
NF 31057	37	35	29	37	35	25	34	25
ISO 10052	38	35	30	38	36	27	36	28
NF EN 140-4	38	36	32	38	36	26	36	26
Min modal	35	33	28	35	32	20	32	20
Max modal	39	38	37	39	39	37	38	36

Tab. E : valeurs des indicateurs actuels et étendus représentant l'isolement au bruit aérien entre deux locaux, en fonction des méthodes de mesure.

En ce qui concerne le passage à la gamme fréquentielle étendue, on constate que l'indicateur $D_{nT,w}$ ne varie pas, quelle que soit la méthode de mesure. En termes de $D_{nT,w} + C$, une différence de 1 dB est constatée. En revanche, le $D_{nT,w} + C_{tr}$, pour sa part, prend une valeur pouvant chuter de 8 dB (avec méthode du « maximum modal »).

4. Portes de sortie

4.1. S'adapter à un indicateur global avec spectre étendu en basses fréquences

Dans l'hypothèse de la mise en place d'un indicateur global intégrant les basses fréquences, les bureaux d'étude ne disposent d'aucun outil fiable permettant un dimensionnement des ouvrages. Acoustique & Conseil a fait la démarche d'une approche calculatoire simplifiée afin de mettre en évidence les orientations que prendraient les résultats de calcul et donc les ouvrages à dimensionner.

Sans passer par des outils de calculs lourds à mettre en place tels que les éléments finis, nécessitant une connaissance de l'ensemble des paramètres physiques de toute façon inadapté aux bureaux d'étude, l'approche proposée ici est de poser l'hypothèse d'une égalité énergétique entre le champ diffus théorique, que l'on sait calculer avec la formulation de l'acoustique statistique, et la somme énergétique de la pression acoustique répartie selon l'approche modale (cf. figure 10).

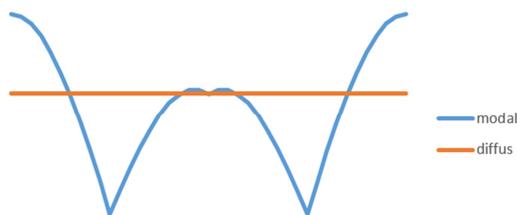


Fig. 10 : Illustration de l'hypothèse d'égalité énergétique entre champ diffus théorique et champ modal.

A partir de la puissance acoustique de la source, il est possible de calculer le niveau de pression dans la pièce d'émission, de répartir cette énergie selon la répartition modale calculée. En déduisant l'affaiblissement apporté par le séparatif il est possible d'évaluer le niveau dans le local de réception en champ diffus et là encore de répartir l'énergie selon le schéma modal.

Sur cette base simplifiée, ne tenant compte ni du comportement du séparatif, ni du couplage entre les volumes, ni des transmissions latérales, il est alors possible de calculer et comparer les différences de niveaux entre tout couple de point Emission/Réception.

Un terme correctif tenant compte du couplage a été proposé par MULHOLLAND & LYON et peut être appliqué à la bande de tiers d'octave dans lequel se situe le premier mode perpendiculaire à la paroi séparative.

Il varie de 5 à 20 dB, en fonction de la nature (légère ou lourde) et de la dimension du séparatif.

Il apparaît alors, qu'en dehors de zones proche des parois (en rouge sur la figure 11), le niveau caractérisé est généralement plus faible que la valeur caractérisée selon l'hypothèse de champ diffus. Ces zones apparaissent en bleu sur la figure 11)

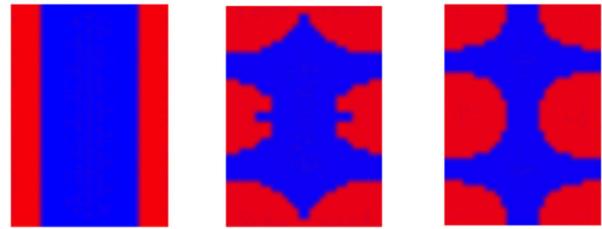


Fig. 11 : Zones dans lesquelles la réception conduit à des niveaux supérieurs aux valeurs en champ diffus (en rouge) et inférieures (en bleu) aux valeurs en champ diffus (en rouge). Bandes de tiers d'octave 63, 80 et 100 Hz.

Les calculs de différence de niveau ont été réalisés pour deux types de séparatifs :

- un séparatif lourd (20 cm de béton plein)
- un séparatif léger (SAD 180)

Quatre cas de couples émission/réception ont fait l'objet d'une comparaison :

- Cas 1 : Représentatif ; valeur dans un angle 3D de la pièce d'émission, valeur au niveau d'une tête de lit en réception (30 cm du séparatif, 60 cm de hauteur)
- Cas 2 : Type 31057 à 1.5 m de hauteur au 2/3 de la diagonale dans les deux locaux.
- Cas 3 : Cas défavorable (valeur minimale à l'émission, valeur maximale en réception)
- Cas 4 : Cas favorable (valeur maximale à l'émission, valeur minimale en réception)

Les différences de niveaux ont été caractérisées de 50 Hz à 100 Hz, au-delà, la répartition modale ne répond plus au critère de fréquence limite. A partir de la bande 125 Hz les mêmes valeurs (calcul champs diffus) ont été considérées pour l'ensemble des cas.

Les courbes de différence de niveau obtenues pour les deux séparatifs sont présentées en figure 12.

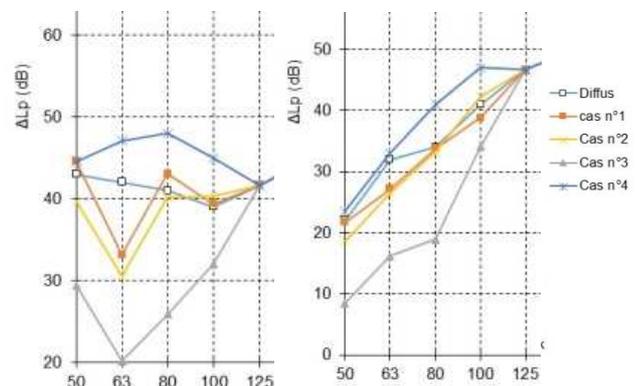


Fig. 12 : Différence de niveau de pression entre deux locaux calculées pour un mur béton 200 mm (à gauche) et une cloison SAD180 (à droite).

Les indices globaux ont été calculés pour l'ensemble des cas et ont été comparés à la valeur calculée sur la base de la formulation applicable au champ diffus. L'ensemble des résultats est présenté dans le tableau F.

		Bruit rose			Bruit routier		
		D _{rose} (100 - 3150 Hz)	D _{rose} (50 - 5000 Hz)	D _{avg}	D _{rose} (100 - 3150 Hz)	D _{rose} (50 - 5000 Hz)	D _{trafic}
Béton de 20 cm	Diffus	59	60	60	54	53	53
	Cas n°1	59	60	59	54	52	52
	Cas n°3	59	60	59	54	50	50
	Cas n°2	57	53	53	51	41	41
	Cas n°4	60	61	60	56	55	55
SAD 180	Diffus	63	59	59	58	46	46
	Cas n°1	63	60	59	58	46	45
	Cas n°3	64	57	57	59	42	42
	Cas n°2	61	47	46	53	32	32
	Cas n°4	64	61	61	61	47	48

Tab. F : valeurs des indicateurs actuels et étendus représentant l'isolement au bruit aérien entre deux locaux, en fonction des méthodes de mesure.

L'analyse de ces résultats montre que les différences de niveaux calculées en tenant compte de la répartition modale sont très proches des valeurs pouvant être calculés dans le cadre de l'hypothèse de diffusion homogène.

On peut constater par ailleurs que l'extension du domaine de fréquence est très défavorable aux séparatifs légers.

En ce qui concerne le séparatif lourd, les valeurs calculées en tenant compte de la répartition modale sont systématiquement supérieures à la valeur correspondant au calcul en champ diffus. Le fait de tenir compte de la répartition modal n'est donc pas plus contraignant en termes de dimensionnement de l'ouvrage.

Pour les séparatifs légers, certains cas présentent des valeurs plus faibles que les calculs selon l'hypothèse de champ diffus. Le fait de considérer le champ modal accentue la faiblesse des valeurs en basses fréquences pour les séparatifs. Cette approche est donc encore une fois défavorable aux séparatifs légers.

4.2. Ne pas intégrer les basses fréquences à un indicateur global

L'autre position, bien plus acceptable physiquement, consiste à dissocier le domaine modal du domaine diffus.

Dans ce cadre, on peut imaginer la création d'un indicateur « basses fréquences », représentatif de l'isolement au bruit aérien dans la bande (50 Hz - 100 Hz).

Celui-ci aurait ainsi un rôle de complément à l'indicateur classique de la bande (100 Hz - 3150 Hz).

Il reste évidemment à le définir, à être capable de le caractériser par la mesure in situ ou en laboratoire et à le calculer, ce qui reste actuellement difficile avec les moyens actuels des bureaux d'étude.

5. Conclusion

L'extension du domaine fréquentiel rend systématique la confrontation de l'ingénieur acousticien à des modes marqués. Ceux-ci conduisent à des variations importantes du champ de pression par bande de tiers d'octave.

Cette approche est par ailleurs très défavorable aux séparatifs légers, ce qui ne va pas forcément dans le sens des économies.

L'impact de l'hypothèse d'égalité énergétique entre champ diffus théorique et champ modal sur l'indice d'évaluation est faible ou nul.

En outre, le bureau d'étude en acoustique est confronté à des problèmes de fiabilité des données d'entrée (mesure de l'indice d'affaiblissement en basses fréquences en laboratoire, estimation par le calcul).

Par ailleurs, la littérature montre le non-respect de l'indépendance des chemins de transmissions dans le domaine modal. Ainsi, la norme EN 12354 n'est pas applicable.

Enfin, les phénomènes de couplages salle/parois/salle, réputés complexes, interdisent également une prévision juste des isolements dans le domaine modal. Un calcul par éléments finis est requis, mais n'est actuellement pas abordable pour les bureaux d'étude.

A ce stade, les bureaux d'étude ne peuvent pas s'engager sur les moyens à mettre en œuvre pour garantir des résultats en basses fréquences

Par ailleurs, la nécessité d'améliorer les isolements en basses fréquences n'est pas prouvée, les études perceptives sont à ce stade contradictoires

L'entrée en vigueur de nouveaux indicateurs intégrant les basses fréquences est prématurée. Au préalable, des efforts doivent être menés sur les outils et les données d'entrée.

Références

- [1] Acoustique des salles et sonorisation – Jacques Jouhaneau – Lavoisier 2003 – ISBN : 2-7430-0463-0
- [2] Predicting the acoustical Radiation of finite size multi-layered structures by applying a spatial windowing on infinite structures – M. Villot, C. Guigou and L. Gagliardini – Journal of Sound and Vibration 245(3), 433-455 - 2001
- [3] Dispersion of sound transmission loss of glazings – Marc Rehfeld – Managing Uncertainty in Noise Measurement and Prediction - Le Mans 2005
- [4] Reproducibility of the present and the proposed single-Number Quantities of Airborne Sound insulation – V. Hongisto, J. Keränen, M. Kylliäinen and J. Mahn – Acta Acustica united with acustica vol 98 (2012) 811-819 – 2012
- [5] The prediction of flanking sound transmission below the critical frequency – J. L. Davy, J. P. Mahn, C. Guigou-Carter and M. Villot – Journal of the Acoustical Society of America – October 2012
- [6] Sound insulation at low frequencies - K. A. Mulholland and R.H. Lyon – Journal of Acoustical Society vol 54 _ 1972