

**CFA '18 LE HAVRE ■ 23-27 avril 2018**  
**14<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique**



**Comparaison entre prédiction et mesure du comportement  
acoustique d'éléments de réseau de ventilation**

C. Guigou Carter<sup>a</sup>, C. Coguenanff<sup>a</sup>, F. Bessac<sup>b</sup> et S. Bailhache<sup>a</sup>

<sup>a</sup>CSTB, 24 Rue Joseph Fourier, 38400 Saint Martin D'Hères, France

<sup>b</sup>CETIAT, Domaine Scientifique de la Doua, 25, avenue des Arts, 69603 Villeurbanne Cedex, France  
catherine.guigou@cstb.fr

Dans ce travail, les résultats d'un modèle et de mesures pour évaluer l'atténuation acoustique d'éléments de réseau de ventilation sont présentés. L'approche de prédiction 2D combine un modèle multi-modal pour les éléments associés à une propagation guidée des ondes et un modèle par éléments finis pour les éléments complexes. Des mesures de l'atténuation acoustique ont été réalisées en laboratoire sur différents éléments de réseau de ventilation, notamment de type coudés, embranchements, conduit droit et caisson. Le montage expérimental est décrit. Différentes configurations sont évaluées pour les éléments de réseau considérés. Une comparaison des résultats des mesures, du modèle de prédiction et aussi des formules simples généralement appliquées pour les éléments considérés est proposée. Pour les embranchements, si les résultats montrent qu'en basses fréquences (en dessous de la fréquence de coupure du conduit), les approches simplifiées et les formules associées donnent des résultats acceptables, en moyennes et hautes fréquences des déviations sont généralement relevées. Cependant pour le cas d'un embranchement symétrique en forme de Y les formules simplifiées sont par exemple en ligne avec la prédiction et la mesure. Sur la base des résultats ainsi obtenus et pour les éléments de réseau le nécessitant, une généralisation et une modification des expressions simplifiées peut être proposée pour évaluer l'atténuation acoustique.

## 1 Introduction

L'objet du projet AcouReVe démarré courant 2015 est de développer une méthodologie permettant sur la base d'une même description de réseau de ventilation, d'effectuer à la fois les calculs acoustiques et aérauliques. L'absence de méthode robuste, partagée sur un modèle commun aux aérauliciens et aux acousticiens est un problème important qu'il est apparu souhaitable de résoudre pour améliorer la conception et mieux maîtriser les comportements de ces systèmes. Le projet est axé sur la partie acoustique du problème, mais il est conçu de façon à définir des briques pouvant être implémentées dans les outils de dimensionnement aéraulique de réseaux existants. Le CSTB et le CETIAT sont les partenaires de ce projet.

Une des tâches du projet AcouReVe traite des données acoustiques et a pour but la constitution d'une base de données fiable, partagée et ouverte concernant les données acoustiques des composants de réseau de ventilation, y compris les sources primaires (ventilateur, caisson de ventilation, etc...). En effet, il est évident que la réussite du calcul acoustique de réseau est fortement dépendante de la qualité des données d'entrées acoustiques représentant ses composants, en particulier si des niveaux de bruit faibles sont attendus pour le système de ventilation.

Dans ce cadre une campagne expérimentale pour améliorer les connaissances sur certains composants a été menée. Il a été décidé dans un premier temps de s'intéresser aux éléments géométriques de type embranchement/piquage, coude, conduit droit et caisson de répartition. De plus, en parallèle des essais expérimentaux, la modélisation de ces embranchements est mise en œuvre. L'approche de prédiction 2D combine un modèle multi-modal pour les éléments associés à une propagation guidée des ondes et un modèle par éléments finis pour les éléments complexes [1].

Dans cet article, une comparaison des résultats des mesures, du modèle de prédiction et aussi des formules simples généralement appliquées pour les éléments considérés (embranchement, conduit droit et caisson de répartition) est proposée. Sur la base des résultats obtenus et pour les éléments de réseau le nécessitant, une généralisation et une modification des expressions simplifiées est proposée pour évaluer l'atténuation acoustique des embranchements.

D'autres mesures sont en cours pour évaluer l'atténuation d'autres éléments, ainsi que la régénération acoustique d'éléments de réseau. De plus, une analyse de résultats de mesures disponibles et de prédiction sur la régénération acoustique des registres effectuée dans le cadre du projet AcouReVe est présentée dans un autre article [2].

## 2 Les embranchements

### 2.1 Montage expérimental

Le montage expérimental est présenté en Figure 1. Dans chaque branche du réseau, il convient de mesurer le niveau de puissance acoustique sur une section, généré par un haut-parleur (HP) dans la branche amont. Le niveau de puissance est approximé par le niveau moyen de 3 microphones répartis à  $120^\circ$  sur une section au demi-rayon de la branche. Les branches aval sont équipées de terminaisons anéchoïques pour assurer un champ faiblement stationnaire. Ces terminaisons anéchoïques sont construites sur la base de la spécification de la norme ISO 5136 ; ce sont des terminaisons à fente recouverte d'un matériau acoustique absorbant choisi avec soin. Une description et le coefficient de réflexion mesuré suivant la méthode de la fonction de transfert [3] (doublet microphonique) pour ces terminaisons anéchoïques sont présentés en Figure 2.

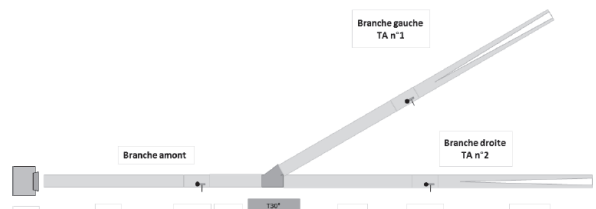


Figure 1: Schéma du montage expérimental.

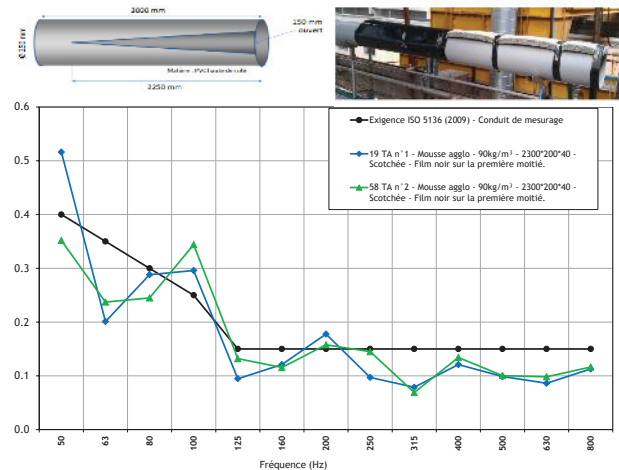


Figure 2: Coefficient de réflexion des terminaisons anéchoïques.

Différentes configurations expérimentales ont été considérées. D'une part le haut-parleur utilisé comme source

d'excitation sur la branche amont est placé soit en bout de conduit soit en position perpendiculaire (voir Figure 3). Dans le cas de la position perpendiculaire, une terminaison anéchoïque est placée à l'extrémité de la branche amont (voir Figure 3 en bas). Trois types d'embranchement sont considérés ici : un T à 90°, un T à 45° et un Y. Différents diamètres de conduit sont aussi testés.



Figure 3: Photos du système expérimental (en haut, HP en bout du conduit amont, et en bas, HP perpendiculaire).

## 2.2 Prédiction - Modèle simple

Les expressions obtenues sur la base de la théorie de l'atténuation sont couramment utilisées ; pour les éléments géométriques tels les embranchements ces expressions pour la variation du niveau de puissance acoustique en fonction de la fréquence de coupure du conduit s'écrivent

- Pour une fréquence inférieure à la fréquence de coupure  $f_0$  du conduit

$$\Delta L_{W B_i} = 10 \log \left[ 1 - \left( \frac{\sum S_{B_i} - 1}{S_a} \right)^2 \right] + 10 \log \left( \frac{S_{B_i}}{\sum S_{B_i}} \right), \quad (1)$$

- Pour une fréquence supérieure à la fréquence de coupure  $f_0$  du conduit

$$\Delta L_{W B_i} = 10 \log \left( \frac{S_{B_i}}{\sum S_{B_i}} \right), \quad (2)$$

avec  $S_a$  la section de la branche amont et  $S_{B_i}$  celle de la  $i$ ème branche aval.

Dans les expressions précédentes, une valeur positive de la variation du niveau de puissance  $\Delta L_w$  indique donc une augmentation du niveau de puissance dans la branche aval par rapport à la branche amont; et une valeur négative une diminution du niveau de puissance dans la branche aval par rapport à la branche amont (c'est-à-dire une atténuation au passage de l'embranchement).

On rappelle que la fréquence de coupure  $f_0$  pour un conduit circulaire est donnée par  $f_0 = (0.59 c)/d$  avec  $d$  le diamètre en m et  $c$  la célérité du son dans l'air en m/s ; et pour un conduit rectangulaire  $f_0 = (0.5 c)/H$  avec  $H$  la plus grande dimension. Ainsi, pour les fréquences au-dessus de la fréquence de coupure, l'atténuation théorique donnée par l'expression (2) ne dépend que de la section de la branche aval considérée et de la section totale de toutes les branches aval.

Pour les fréquences en dessous de la fréquence de coupure, le premier terme de l'expression (1) est associé à un effet de réflexion des ondes planes dans les basses fréquences.

## 2.3 Prédiction - Modèle détaillé

Le modèle 2D utilisé combine un modèle multi-modal pour les éléments associés à une propagation guidée des ondes et un modèle par éléments finis pour les éléments

complexes. Il est présenté dans un article associé [1] et n'est donc pas détaillé ici.

Deux types d'atténuation sont évalués sur la base de cette modélisation ; l'atténuation dans une branche est évaluée

- soit sur la base de la puissance acoustique sur une section du conduit (dénotée Prédiction -  $L_w$ )
- soit sur la base du niveau de pression en 2 points placés sur une section à la moitié du rayon dénotée Prédiction -  $L_p$ .

La différence entre ces deux évaluations de l'atténuation est que pour la méthode Prédiction -  $L_p$ , le niveau de pression moyen  $L_p$  dans la branche amont d'émission est simplement construit à partir de la pression (combinant donc les ondes incidentes et réfléchies sur la discontinuité, d'où les pics en basses fréquences) alors que pour la méthode Prédiction -  $L_w$  le niveau de puissance  $L_w$  dans la branche amont d'émission est construit à partir la puissance des ondes incidentes uniquement.

## 2.4 Résultats - Embranchement T à 90°

Dans un premier cas, tous les éléments du réseau sont de diamètre 250 mm et l'excitation est en bout de conduit. La Figure 4 compare les différentes variations  $\Delta L_w$  obtenues; sur la droite de la figure est donnée une représentation de la configuration prise en compte dans la prédiction et la distribution de pression (partie réelle) à 500 Hz. Tout d'abord on peut noter une bonne concordance entre mesure et prédiction pour les deux branches considérées; des écarts entre mesure et prédiction sont cependant visibles pour la branche latérale à 90° à partir de 800 Hz (correspondant à la fréquence de coupure du premier mode non plan). Dans cette branche l'évaluation de l'atténuation sur la base de la puissance ( $L_w$ ) ou de la pression ( $L_p$ ) donne des résultats différents même si la tendance reste la même. Dans les basses fréquences le pic observé au tiers d'octave 125 Hz lors des mesurages est aussi présent sur la prédiction de l'atténuation basée sur le niveau de pression ( $L_p$ ).

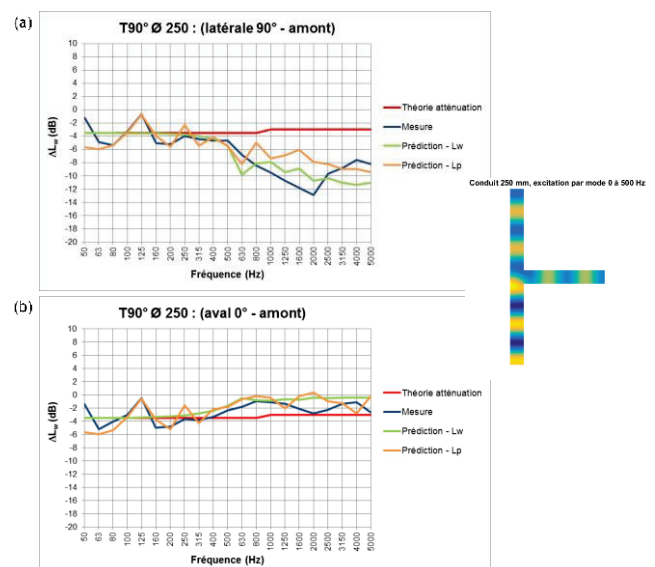


Figure 4: Cas T90° 250-250-250 ; Variation  $\Delta L_w$  (a) branche latérale 90° et (b) branche 0°.

Dans un second cas, l'élément du réseau à 90° est de diamètre 160 mm et les autres éléments de diamètre 250 mm et l'excitation est en bout de conduit. Les différentes variations  $\Delta L_w$  obtenues sont montrées Figure 5. Le changement de diamètre ne modifie pas grandement les remarques précédentes (pour le premier cas). Pour les



fréquences au-dessus de la fréquence de coupure la prédiction sur la base du  $L_w$  ou du  $L_p$  donne des résultats très similaires, notamment dans la branche latérale à  $90^\circ$ . La prédiction ne permet pas de retrouver la forte atténuation (atténuation de plus de 12 dB) mesurée notamment pour la branche aval à  $90^\circ$  autour du tiers d'octave 2500 Hz (la fréquence d'anneau du tube utilisé est au-delà de la fréquence considérée ici).

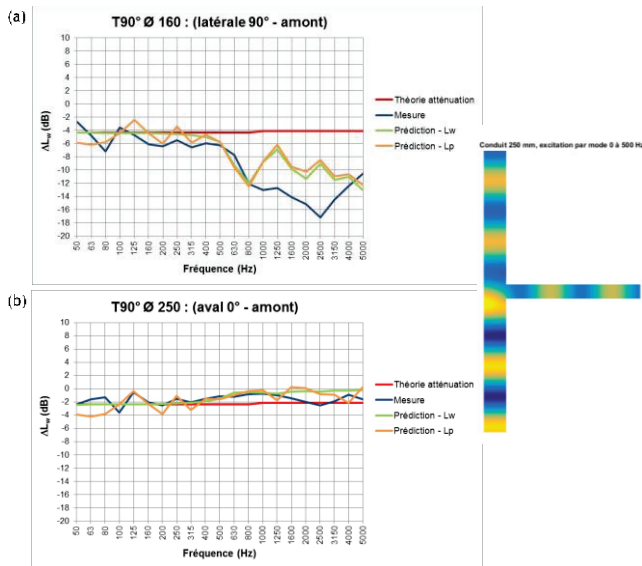


Figure 5: Cas T $90^\circ$  250-160-250 ; Variation  $\Delta L_w$  (a) branche latérale  $90^\circ$  et (b) branche  $0^\circ$ .

Dans un troisième cas, l'élément du réseau à  $90^\circ$  est de diamètre 160 mm et les autres éléments de diamètre 250 mm et l'excitation est placée latéralement (perpendiculaire à l'axe du conduit). La Figure 6 compare les différentes variations  $\Delta L_w$  obtenues. Dans ce cas un coude est ajouté pour générer des modes de propagation d'ordre plus élevé pour se rapprocher de l'excitation latérale avec le HP dans l'essai expérimental. Pour la branche latérale à  $90^\circ$ , la prédiction et la mesure sont en bonne concordance jusqu'au tiers d'octave 2000 Hz; l'atténuation mesurée a un comportement différent notamment avec l'accident au tiers d'octave 3150 Hz. Dans la branche aval à  $0^\circ$ , l'atténuation mesurée est plus importante que celle prédite.

Dans tous les cas, pour les fréquences bien inférieures à la fréquence de coupure de la section amont, la théorie de l'atténuation (fonction des sections des éléments seulement) est en relativement bonne concordance avec la mesure et les prédictions. Pour les fréquences supérieures à la fréquence de coupure de la section amont, il existe une différence entre la théorie de l'atténuation et les résultats de la mesure et des prédictions; cette différence est plus importante pour la branche latérale à  $90^\circ$ .

Pour essayer de comprendre le comportement observé dans les résultats de mesure et de prédiction au tiers d'octave 125 Hz, le niveau de pression dans le réseau de conduits est montré à 125 Hz à la Figure 7 pour une excitation en onde plane. On notera que la position des microphones se retrouve dans un nœud de pression le long du conduit dans la branche amont ; il en est de même à la fréquence 250 Hz. La présence d'une onde stationnaire est associée à la discontinuité apportée par l'embranchement à  $90^\circ$  (qui génère une onde réfléchie). Ce comportement (niveau de pression plus faible) est aussi observé sur la mesure dans la branche amont au tiers d'octave 125 Hz (pas forcément nettement observable pour le tiers d'octave 250 Hz).

L'accident de l'atténuation mesuré vers le tiers d'octave 2000 ou 2500 ou 3150 Hz n'est pas pour l'instant identifié. La fréquence d'anneau des conduits utilisés est supérieure à la bande de fréquence considérée dans cette section (au-dessus de 5000 Hz). Il se pourrait que la présence/amplitude de modes d'ordre supérieur au mode plan soit mal évaluée par la prédiction; à ces fréquences une modification de la géométrie de l'embranchement peut certainement avoir des effets. Dans le cas de la modélisation effectuée les angles entre les éléments de conduit sont saillants (le rayon de courbure aux jonctions des éléments de conduit au niveau de l'embranchement est nul) ce qui n'est pas le cas en pratique et donc la répartition modale pourrait en être modifiée. Ce point reste à confirmer. De plus le modèle est développé en simplement 2D ce qui peut aussi être insuffisant pour appréhender convenablement le comportement acoustique dans cette zone fréquentielle.

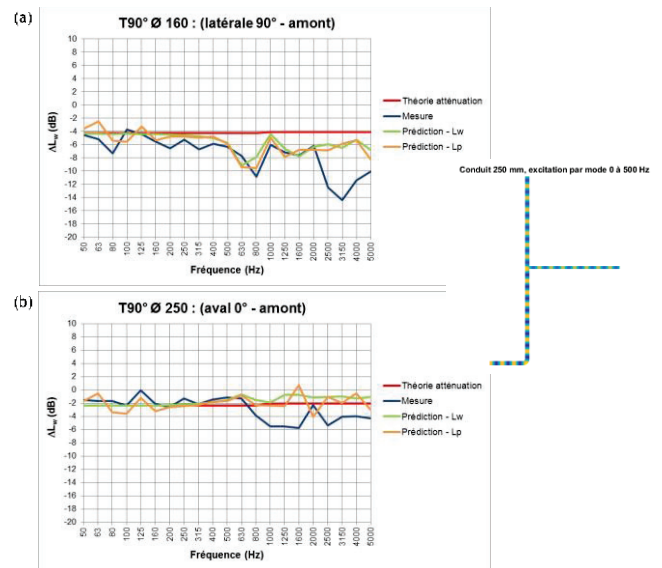


Figure 6: Cas T $90^\circ$  250-160-250 – HP latéral ; Variation  $\Delta L_w$  (a) branche latérale  $90^\circ$  et (b) branche  $0^\circ$ .



Figure 7: Distribution de pression à 125 Hz et 250 Hz pour une excitation en onde plane dans la branche inférieure (module de la pression).

De manière générale, on notera que la variation  $\Delta L_w$  prédite et mesurée est différente pour les deux branches aval du Té à  $90^\circ$  ; comme on pouvait s'y attendre la branche aval à  $90^\circ$  présente une atténuation est plus importante que celle à  $0^\circ$  par rapport à la branche amont. Cependant, l'expression par la méthode simplifiée pour les fréquences au-dessus de la fréquence de coupure donne la même variation pour les deux branches aval.

## 2.5 Résultats - Embranchement en Té oblique $45^\circ$

Dans un premier cas, tous les éléments du réseau sont de diamètre 250 mm et l'excitation est en bout de conduit. Les différentes variations  $\Delta L_w$  obtenues sont montrées Figure 8.

La concordance entre la mesure et les prédictions est bonne pour les deux branches (latérale à 45° et aval à 0°) sur toute la gamme de fréquence. L'accident observé au tiers d'octave 125 Hz est présent sur la mesure et la prédiction  $L_p$  et est associé comme indiqué précédemment à un nœud de pression à la position de la section de mesurage dans la branche amont (onde stationnaire, voir Figure 7).

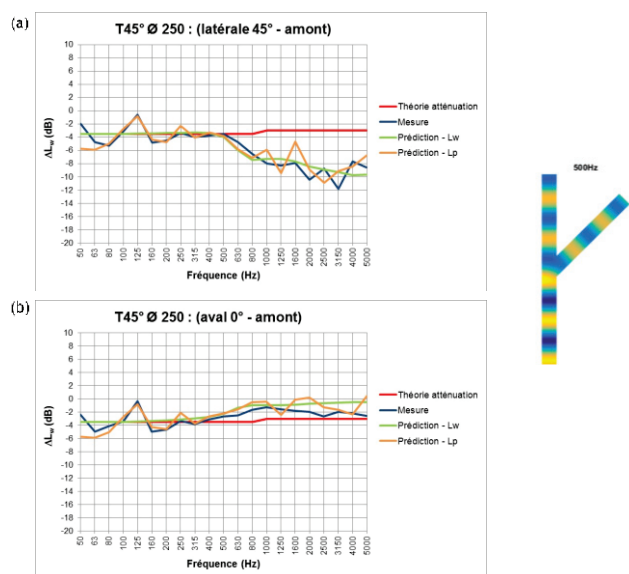


Figure 8: Cas T45° 250-250-250 ; Variation  $\Delta L_w$  (a) branche latérale 45° et (b) branche 0°.

Dans un autre cas, l'élément du réseau à 45° est de diamètre 160 mm et les autres éléments restent de diamètre 250 mm et l'excitation est en bout de conduit. Les résultats (non montrés ici) sont en ligne avec ceux observés sur la Figure 5 pour un embranchement en T à 90°. Pour les fréquences bien inférieures à la fréquence de coupure de la section amont, la théorie de l'atténuation est en relativement bonne concordance avec la mesure et les prédictions. Pour les fréquences supérieures à la fréquence de coupure de la section amont, il existe une différence entre la théorie de l'atténuation et les résultats de la mesure et des prédictions; cette différence est plus importante pour la branche latérale à 45°.

Finalement, l'élément du réseau à 45° est de diamètre 160 mm et les autres éléments de diamètre 250 mm et l'excitation est placée latéralement (perpendiculaire à l'axe du conduit). La Figure 9 compare les différentes variations  $\Delta L_w$  obtenues. L'atténuation mesurée et prédite est plus importante dans la branche latérale aval à 45° que dans celle aval à 0° ; ce comportement correspond à celui observé pour un T à 90°.

Dans tous les cas, pour les fréquences bien inférieures à la fréquence de coupure de la section amont, la théorie de l'atténuation est en relativement bonne concordance avec la mesure et les prédictions. Pour les fréquences supérieures à la fréquence de coupure de la section amont, il existe une différence entre la théorie de l'atténuation et les résultats de la mesure et des prédictions; cette différence est plus importante pour la branche latérale à 45°.

## 2.6 Résultats - Embranchement en Y

Dans un premier cas, tous les éléments du réseau sont de diamètre 250 mm et l'excitation est en bout de conduit. Les différentes variations  $\Delta L_w$  obtenues sont montrées Figure 10. Dans ce cas, la modélisation prédit la même atténuation dans les deux branches de l'embranchement en Y; c'est aussi

globalement le cas pour la mesure. L'atténuation prédite est globalement moins importante que celle mesurée pour des fréquences supérieures à la fréquence de coupure (800 Hz). On notera que la prédiction sur la base du calcul de puissance (Prédiction -  $L_w$ ) correspond bien à la théorie de l'atténuation sur toute la bande fréquentielle.

Le même type de résultats est observé lorsque l'excitation est placée latéralement (perpendiculaire à l'axe du conduit).

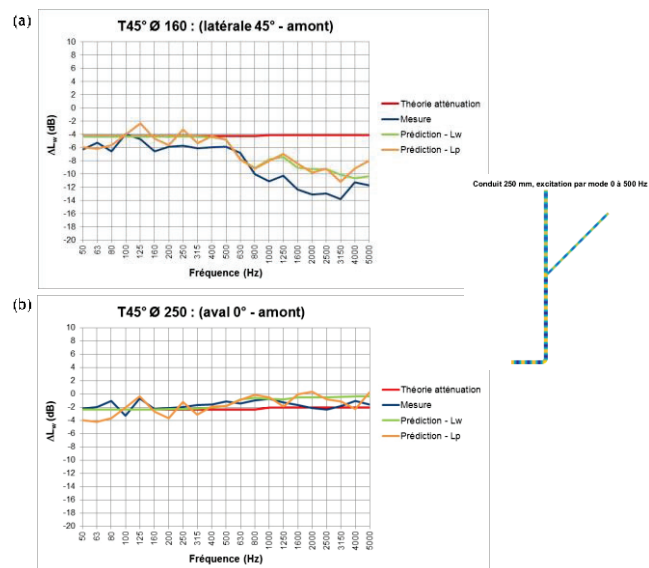


Figure 9: Cas T45° 250-160-250 – HP latéral; Variation  $\Delta L_w$  (a) branche latérale 45° et (b) branche 0°.

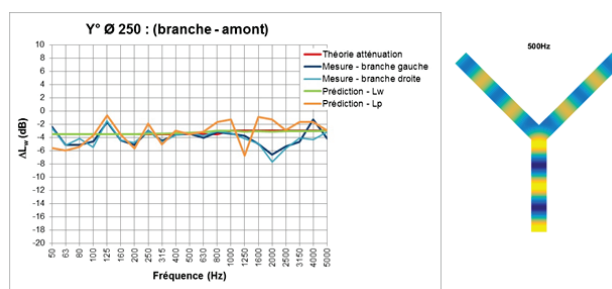


Figure 10: Cas Y 250-250-250.

## 3 Atténuation le long des conduits droits

D'autres mesures ont été conduites pour évaluer l'atténuation le long des conduits droits de différents diamètres. Un microphone positionné à  $\frac{1}{4}$  du diamètre est déplacé le long du conduit tous les 20 cm ; les conduits considérés sont en acier galvanisé spiralé de longueur de 1 ou 3 m et aboutés pour obtenir une longueur totale de 5 ou 6 m. Une terminaison anéchoïque est utilisée en bout de conduit. Le montage expérimental est montré à la Figure 11.

Les mesures montrent que jusqu'au tiers d'octave 80 Hz des ondes stationnaires existent dans le conduit droit, entre les tiers d'octave 100 et 1250 Hz le niveau sonore est assez constant, et à partir de 1600 Hz des variations apparaissent. La Figure 12 montre l'atténuation en dB/m obtenue avec les mesures effectuées sur différents diamètres de conduit. Tout d'abord, il faut noter que globalement les données issues de la littérature (Ashrae, VDI, etc..) sont du même ordre de grandeur et proches de 0 dB/m sur toute la bande de fréquence pour tous les diamètres considérés. Les mesures montrent effectivement la même chose jusqu'au tiers

d'octave 1600 ou 1250 Hz. Dans les hautes fréquences il semble que le nombre d'éléments de conduit aboutés ait une certaine influence : pour le diamètre de 160 mm, l'atténuation linéique est plus chahutée pour 5 éléments de 1 m que pour 2 éléments de 3 m. Ainsi les discontinuités ont certainement une influence à ces fréquences.



Figure 11: Montage expérimental pour l'évaluation de l'atténuation le long d'un conduit droit.

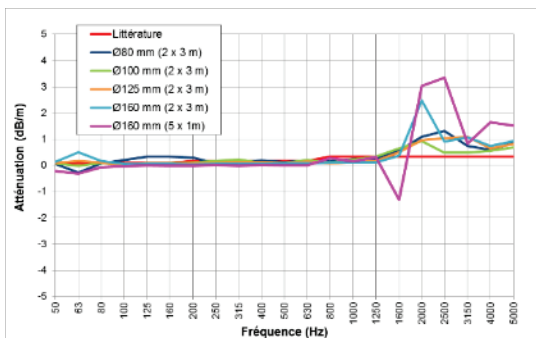


Figure 12: Atténuation en dB/m pour un conduit droit circulaire.

## 4 Caissons de répartition

Le cas des caissons de répartition a aussi été étudié dans le cadre de ce travail. Pour pouvoir utiliser les terminaisons anéchoïques précédemment fabriquées, un caisson sur mesure a été réalisé avec une entrée en diamètre de 250 mm et 6 sorties en diamètre de 160 mm ; il est montré à la Figure 13. Ses dimensions intérieures sont de 88 cm de long, 50 cm de large et 25 cm de haut. L'atténuation entre les branches aval de sortie et la branche amont d'entrée est évaluée sur la base de mesure de la pression moyenne sur une section des branches et sur la base d'une modélisation (basée sur l'évaluation de la puissance incidente dans la branche amont et la puissance transmise dans les branches aval). De nombreuses configurations ont été testées en faisant varier le nombre de branches de sortie, avec ou sans symétrie des branches de sortie, etc... Seuls deux exemples sont montrés ici pour illustrer les résultats ; l'excitation est générée par un haut-parleur placé latéralement (perpendiculaire à l'axe du conduit amont).

La Figure 14 montre une comparaison entre mesure et calcul pour une configuration symétrique des branches de sortie. Tout d'abord on note bien qu'à la fois en mesure et en calcul les variations de  $\Delta L_w$  sont relativement proches pour les sorties gauche et droite placées symétriquement (G1 et

D1, et G2 et D2). Ensuite les résultats de la modélisation sont en assez bon accord avec ceux des mesures : les variations fréquentielles se retrouvent même si les amplitudes sont un peu différentes. Au-dessus de la fréquence de coupure des conduits en sortie ( $\approx 1250$  Hz), la prédiction donne une atténuation relativement constante entre 6 et 8 dB et moins importante que les mesures.

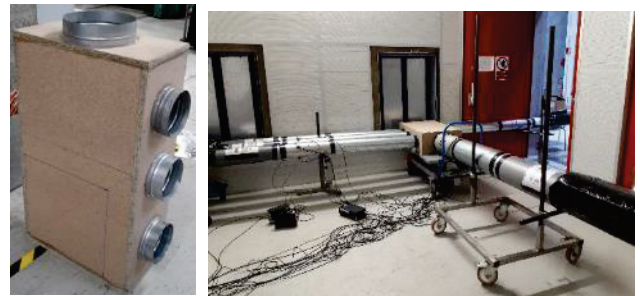


Figure 13: Caisson et montage expérimental.

La Figure 15 montre la répartition de la pression acoustique dans le système considéré (le coude utilisé pour induire des modes de propagation d'ordre plus élevé pour se rapprocher de l'excitation latérale avec le HP, n'est pas représenté). On remarque bien que suivant la fréquence la répartition entre les branches aval est différente : à 200 Hz la transmission est plus importante dans les branches G1 et D1, à 400 Hz légèrement plus dans les branches G2 et D2, et à 2000 Hz du même ordre dans toutes les branches aval.

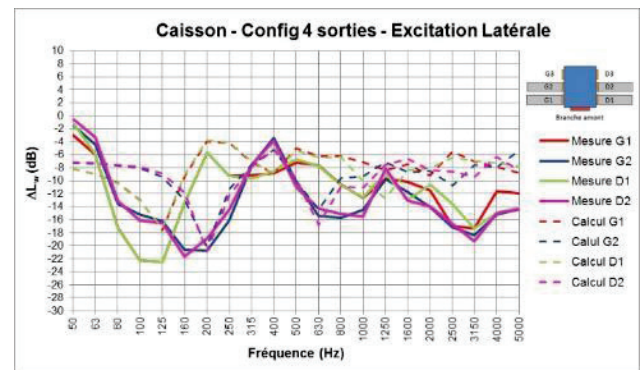


Figure 14: Variation  $\Delta L_w$  ; Caisson avec 4 sorties symétriques – HP latéral.



Figure 15: Exemple de répartition du champ de pression acoustique ; de gauche à droite : 200, 400 et 2000 Hz.

Les tendances montrées dans cet exemple sont globalement similaires à celles observées dans les autres 20 configurations testées.

## 4 Conclusion et propositions

Concernant les embranchements et les piquages, les résultats présentés montrent qu'en dessous de la fréquence de coupure du conduit en amont, la théorie d'atténuation sur la base des sections semble appropriée. Une amélioration pourrait éventuellement être apportée dans la zone de transition de la fréquence de coupure et pour les fréquences



au-dessus de cette fréquence de coupure Sur la base des résultats obtenus, les expressions suivantes sont proposées pour évaluer l'atténuation acoustique associée à un embranchement. Deux types d'embranchements sont pris en compte :

- les embranchements de type piquage : dans ce cas le conduit amont et un des conduits aval sont les mêmes et en continuité
- les embranchements de distribution : dans ce cas le conduit amont est divisé en deux conduits aval ; ces deux conduits sont les mêmes et symétriques en terme d'angle par rapport au conduit amont

La Figure 16 montre ces deux types d'embranchement.

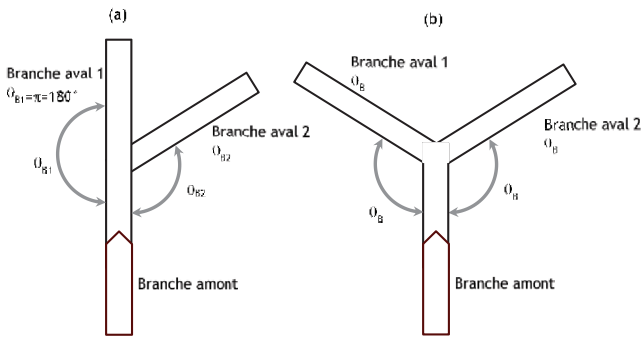


Figure 16: Embranchements de type (a) piquage et (b) distribution.

Le terme  $f_0$  représente la fréquence de coupure du conduit amont et  $f_{0_{1/3oct}}$  le tiers d'octave et  $f_{0_{oct}}$  le tiers d'octave dans lequel la fréquence de coupure du conduit se trouve.

- Pour  $f_{1/3oct} < f_0_{1/3oct}$  ou  $f_{oct} < f_0_{oct}$

$$\Delta L_{W B_i} = 10 \log \left[ 1 - \left( \frac{\sum S_{B_{i-1}}}{S_a} \right)^2 \right] + 10 \log \left( \frac{S_{B_i}}{\sum S_{B_i}} \right), \quad (3)$$

- Pour  $f_{1/3oct} \geq f_0_{1/3oct}$  ou  $f_{oct} \geq f_0_{oct}$

$$\Delta L_{W B_i} = 10 \log \left( \frac{S_{B_i}}{\sum S_{B_i}} \right) + f(\theta_{B_i}), \quad (4)$$

avec

$$f(\theta_{B_i}) = \begin{cases} 1 & \text{si piquage et branche aval 1 } (\theta_{B1} = 180^\circ) \\ -2.5 \sin(\theta_{B_i}) & \text{si piquage et branche aval 2} \\ -2 \cos(\theta_B - (\pi/4)) & \text{si distribution} \end{cases}, \quad (5)$$

et avec  $S_a$  la section de la branche amont,  $S_{B_i}$  celle de la  $i$ ème branche aval,  $\theta_{B_i}$  l'angle de la  $i$ ème branche aval avec la branche amont tel que  $\pi/2 \leq \theta_{B_i}$  ou  $\theta_{B_i} \leq 3\pi/4$ .

Ainsi pour les embranchements, par rapport à la théorie de l'atténuation, seule l'expression pour les tiers d'octave ou les octaves à partir de la fréquence de coupure est modifiée. Les Figures 17 à 18 présentent une comparaison des résultats et des différentes formulations pour la variation de la puissance acoustique associée à un embranchement de type piquage ou distribution.

Concernant l'atténuation le long des conduits droits, les mesures sont globalement en ligne avec ce qui est attendu soit proche de 0 dB/m ; dans les hautes fréquences, les discontinuités ont certainement une influence et l'atténuation le long du conduit peut montrer ces variations importante.

Le modèle 2D utilisé combinant un modèle multi-modal pour les éléments associés à une propagation guidée des ondes et un modèle par éléments finis pour les éléments complexes [1], se montre aussi pertinent pour évaluer l'atténuation apportée par un caisson de distribution. Dans ce cas, il n'existe pas de formulation simple dans la littérature et des travaux complémentaires sont à effectuer pour essayer de proposer une approche simplifiée.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'ADEME et les directions de la recherche du CETIAT et du CSTB pour le financement de ces travaux. L'implication des partenaires industriels et des bureaux d'études acoustiques est aussi très appréciée.

## Références

- [1] Coguenanff C., Guigou-Carter C., Bailhache S., Bessac F., "Modélisation du comportement acoustique d'éléments de réseau de ventilation", Proceedings du CFA 2018, Le Havre, France (2018).
- [2] Bailhache S., Colin S., Guigou-Carter C., Bessac F., "Comparaison entre prédiction et mesure du bruit régénéré par des registres", Proceedings du CFA 2018, Le Havre, France (2018).
- [3] Chung J.Y., Blazer D.A., Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties, Part I and II, Journal of the Acoustical Society of America, 68(3), pp. 907-921 (1980).

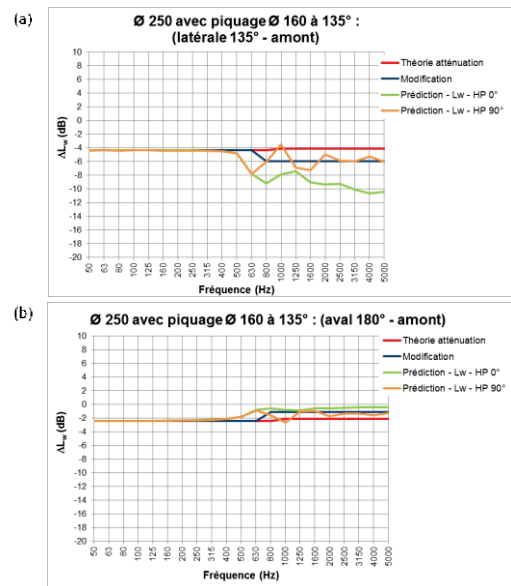


Figure 17: Conduite Ø250 avec piquage Ø160 à 45°; Variation  $\Delta L_w$  (a) branche latérale à 45° et (b) branche 0°.

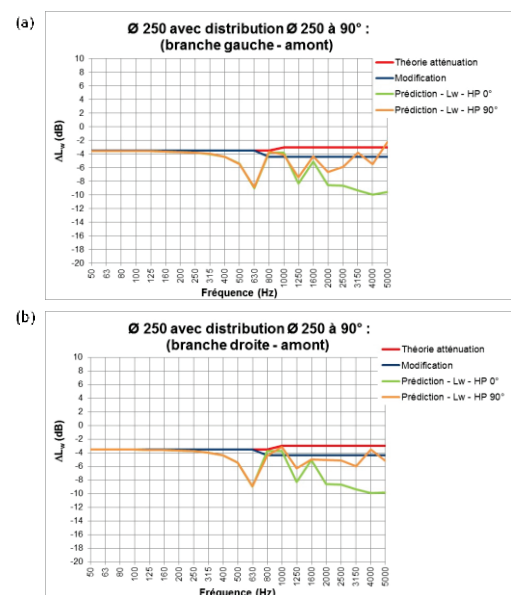


Figure 18: Conduite Ø250 avec distribution Ø250 à 90°; Variation  $\Delta L_w$  (a) branche gauche et (b) branche droite.