

Prévision de la performance acoustique et aéraulique (aérodynamique) de silencieux logiciel SILDIS® Module 1 / 1+ / 1A

La prévision de la performance acoustique et aéraulique (aérodynamique) de silencieux est une tâche récurrente pour de nombreux acousticiens et pour d'autres techniciens et ingénieurs moins spécialisés, soit dans le cadre de prestations de conception et études en isolation acoustique, soit dans le cadre de projets de R&D e.g. insonorisation de machines, limitation des émissions sonores de réseaux aérauliques (e.g. installations d'air conditionné) et de fluides sous pression (dans les secteurs du bâtiment et de l'industrie) .

Basé sur Excel, le Module 1 / 1+ / 1A du logiciel de calcul SILDIS® permet de prévoir la performance acoustique et aéraulique (aérodynamique) des silencieux de manière simple et sûre.

Périmètre de calcul de la performance acoustique et aéraulique (aérodynamique) de silencieux avec le Module 1 du logiciel SILDIS®

Fondamentalement, la prévision de la performance acoustique et aéraulique (aérodynamique) de silencieux avec le Module 1 du logiciel SILDIS® se rapporte à la conception de dispositifs réduisant la transmission acoustique dans un conduit, une canalisation ou une ouverture, sans empêcher le transport du fluide, lorsqu'ils sont dissipatifs, i.e. atténuant les sons à large bande avec une perte de charge relativement faible et convertissant partiellement l'énergie acoustique en chaleur par frottement sur des tubes à structure poreuse (par exemple fibreuse).

Le logiciel de calcul acoustique SILDIS® permet également des simulations pour des équipements d'insonorisation avec des effets de résonance e.g. lorsque des plaques sont envisagées (alors: recouvrant un milieu poreux) ou lorsque des cavités sont impliquées e.g. avec des séparateurs "en forme de sapin" / "en forme d'arête de poisson" (ainsi nommés du fait de leur aspect général) produisant une atténuation acoustique à partir de résonances faiblement amorties d'éléments contenant des matériaux absorbants, alors installés à l'arrière de chambres ou bien latéralement..

Applications de la prévision de la performance acoustique et aéraulique (aérodynamique) de silencieux avec le Module 1 du logiciel SILDIS®

Différentes applications sont possibles pour la prévision de la performance acoustique et aéraulique (aérodynamique) des silencieux avec le Module 1 du logiciel SILDIS®, dès lors qu'il s'agit d'obtenir une perte par transmission sonore par le biais de la mise en œuvre d'un silencieux éventuellement inclus dans un bâtiment industriel, une cabine, un mur, un écran (dans une perspective d'insonorisation), e.g. pour la protection des travailleurs contre l'exposition au bruit, la préservation de l'environnement sonore (par exemple dans le secteur de l'énergie), à l'occasion de projets relatifs à des salles de mesures acoustiques ou à des bancs d'essais, à des fins de confort acoustique dans les bâtiments.

Quel que soit le contexte, la flexibilité du logiciel permet de bien rendre compte des situations couramment rencontrées lorsqu'il s'agit de prévoir et/ou de limiter l'impact sonore d'installations.

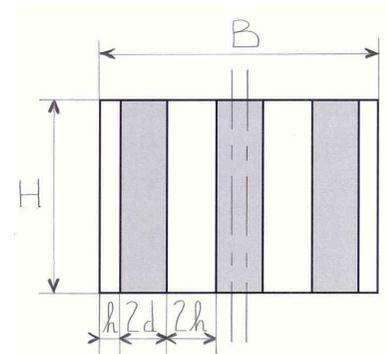


Fig. 1 Silencieux dissipatif de section rectangulaire (silencieux à baffles)

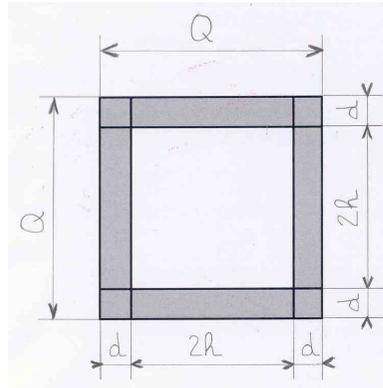


Fig. 2 Silencieux dissipatif de section carrée

Dans ce domaine, il s'agit notamment de:

- la ventilation d'enceintes et/ou de prises d'air pour procédés thermodynamiques impliquant divers équipements bruyants tels que ventilateurs, aérocondenseurs, moteurs, turbines à gaz (y compris des alimentations en air comburant) ...
- la ventilation de bancs d'essais et/ou d'entrées d'air pour les processus thermodynamiques des bancs d'essais ...
- la réduction du bruit de cheminées, de lignes d'échappement de moteurs et de turbines à gaz, d'évents de décompression de fluides ...
- la limitation de l'impact sonore pour des systèmes de climatisation et des réseaux de canalisations en tous genres ...

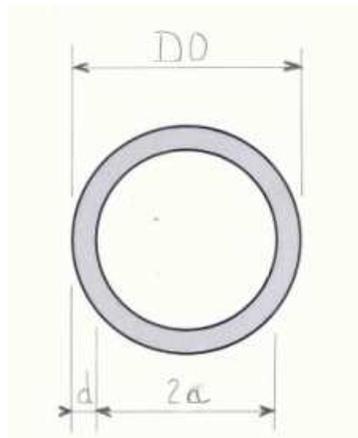


Fig. 3 Silencieux dissipatif de section circulaire: sans séparateur central (e.g. pour réseau d'air conditionné ou de ventilation)

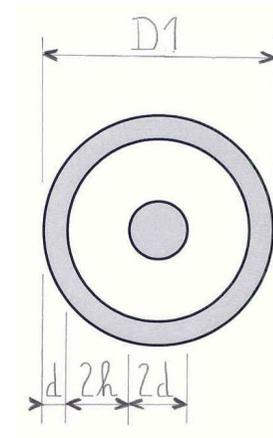


Fig. 4 Silencieux de section circulaire: avec séparateur central (e.g. étage dissipatif d'un silencieux pour moteur)

Les montages et la géométrie des silencieux pour lesquels la performance acoustique et aéralique (aérodynamique) peut être prévue avec le Module 1 du logiciel SILDIS® sont nombreux, comme détaillé dans le manuel d'utilisation du logiciel SILDIS® [1].

De nombreuses configurations fréquemment utilisées pour les dispositifs de réduction du bruit utilisés dans le cadre de l'insonorisation industrielle ou pour le confort acoustique dans les bâtiments peuvent être simulées, e.g. lorsqu'impliquant des enveloppes de section éventuellement rectangulaire (cf. fig. 1), carrée (cf. fig. 2) ou circulaire (cf. fig. 3, cf. fig. 4, cf. fig. 5, cf. fig. 6) et un ensemble de garnissages absorbant les sons de forme variable comprenant des revêtements et/ou des séparateurs i.e. des baffles (selon les cas: avec une seule épaisseur d ou avec une double épaisseur $2d$) soit plans (cf. fig. 1, cf. fig. 6) soit courbes (cf. fig. 3, cf. fig. 4, cf. fig. 5) - de nombreuses variantes peuvent être considérées, en fonction du nombre et de la disposition des séparateurs absorbants, e.g. lorsqu'en forme d'anneaux - alors avec des voies d'air simples h ou avec des voies d'air doubles $2h$ (2a en cas d'absence de séparateur central

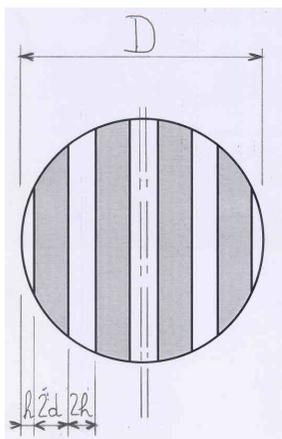


Fig. 6 Silencieux dissipatif de section circulaire : avec séparateurs non concentriques (transverses)

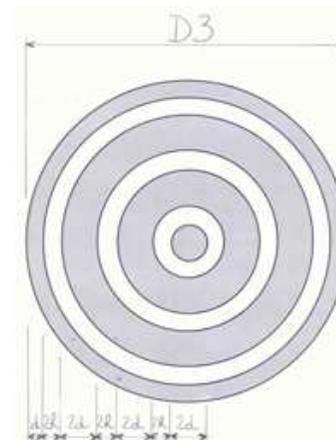


Fig. 5 Silencieux dissipatif de section circulaire: avec séparateur central et avec séparateurs concentriques

pour les silencieux dissipatifs de section circulaire, comme illustré par la figure 3) ; pour les silencieux cylindriques (dont la section transversale est circulaire), le séparateur central peut être plein ou creux.

Alors que les applications dans le secteur du bâtiment impliquent souvent le recours à des silencieux avec des montages et des géométries comme le montrent les figures 1 (avec un nombre variable de séparateurs) à 4, les pratiques relatives à l'insonorisation industrielle font appel à une plus grande variété de combinaisons de formes de la section transversale et d'agencement du remplissage insonorisant (les figures 5 et 6 illustrent des conceptions possibles pour des échappements de turbines à combustion de capacité modérée - quelques MW - ou pour l'étage aval de silencieux de décharge, le nombre de baffles ou d'anneaux absorbants étant ajusté en fonction des besoins).

De plus, pour des installations spéciales, lorsque le fluide transporté dans le réseau de conduits (et donc: dans le silencieux), est significativement agressif d'un point de vue physico-chimique, et de ce fait susceptible d'endommager les garnissages insonorisants s'il sont directement exposés au flux, la surface qui peut être considérée pour les baffles n'est pas nécessairement plane,

éventuellement avec des cavités hébergeant des couches absorbantes: en plus de l'épaisseur des séparateurs $2d^*$, le nombre de paramètres à prendre en compte augmente alors car il faut considérer des dimensions telles que Δd , L_s , S_a , S_s (T), θ dans le cas de la mise en œuvre d'un absorbeur à l'arrière (cf. fig. 7) ou d'autres caractéristiques dimensionnelles du même acabit dans le cas de sa mise en œuvre latérale (de tels dispositifs ne sont d'ailleurs pas purement dissipatifs, néanmoins: considérés et couverts par les capacités de simulation du Module 1 du logiciel SILDIS® de manière analogue).

Évidemment, les paramètres géométriques d et h (resp. a) sont fondamentaux pour modéliser de tels atténuateurs sonores (tout comme leur longueur axiale), mais de nombreuses autres grandeurs physiques, ayant un impact sur les performances, doivent être prises en compte d'une manière suffisamment fine, e.g. la nature du fluide, le contexte thermodynamique, le comportement acoustique et les conditions de propagation axiale du son à l'intérieur du garnissage absorbant (éventuellement: multicouche), la vitesse du gaz.

C'est une bonne chose que tous ces facteurs clés pour la prévision de la performance acoustique et aéroulque (aérodynamique) des silencieux soient pris en compte à la fois de manière robuste et sophistiquée, comme c'est complètement le cas au moyen des étapes et des routines de calcul du logiciel SILDIS® implémentées dans ce qui est dénommé le Module 1.

Schéma fonctionnel de calcul pour la prévision de la performance acoustique de silencieux dissipatifs avec le Module 1 du logiciel SILDIS®

Le schéma fonctionnel de calcul pour la prévision de la performance acoustique de silencieux avec le Module 1 du logiciel SILDIS® est tel qu'illustré par la figure 8 dans le cas d'un matériau absorbant de garnissage à réaction locale (c'est-à-dire en supposant qu'il n'y a pas de transmission sonore à l'intérieur de l'absorbeur selon la direction de l'écoulement, soit en raison d'une résistivité suffisamment élevée, soit du fait de la mise en place de cloisonnements transversaux).

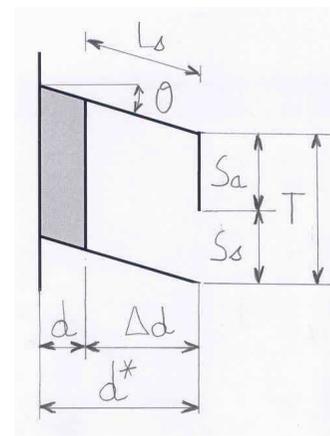


Fig. 7 Silencieux avec séparateurs d'épaisseur $2d^*$ creux (garnissage absorbant les sons à l'arrière)

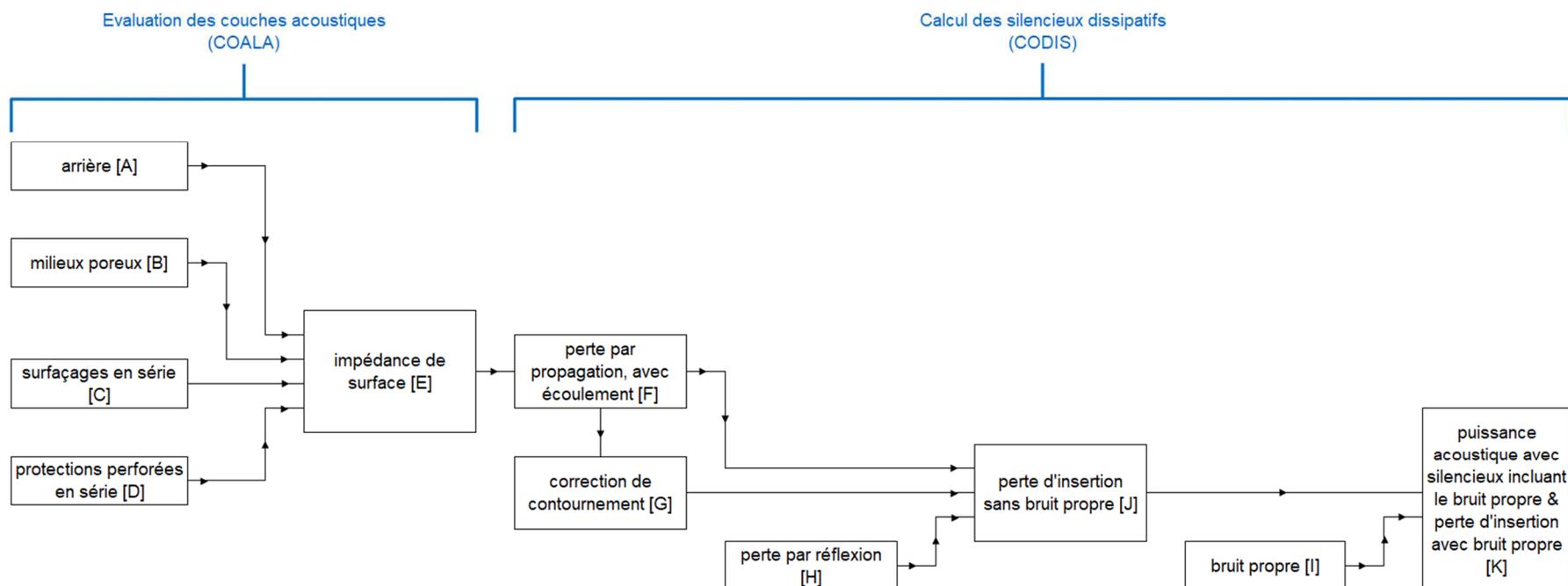


Fig. 8 Schéma fonctionnel de calcul pour la prévision de la performance acoustique de silencieux avec le Module 1 du logiciel SILDIS® dans le cas d'un matériau absorbant à réaction locale

La routine COALA (acronyme anglais qui peut être traduit par évaluation des couches acoustiques) est une étape clé des calculs du logiciel de simulation SILDIS®, dont le résultat est l'impédance de surface de la structure acoustique multicouche considérée, qui est une grandeur physique souvent utilisée à l'occasion des simulations relatives à la propagation sonore. Pour le module 1 du logiciel SILDIS®, cette routine prend en compte (comme détaillé dans la section suivante) des milieux poreux, éventuellement complétés par des surfaçages ou/et des protections perforées.

Dans le cadre de la prévision de la performance acoustique de silencieux, cette routine COALA est appariée avec la routine CODIS (acronyme anglais qui peut être traduit par calcul des silencieux dissipatifs), incluant l'évaluation de la perte par propagation avec écoulement, d'une correction de contournement, et de la perte par réflexion - ce dont la combinaison résulte en la perte d'insertion sans bruit propre - et aussi, par ailleurs, la détermination du bruit propre (i.e. du bruit dû à l'écoulement) pour enfin obtenir la puissance acoustique avec le silencieux en incluant son bruit propre, et la perte d'insertion tenant compte du bruit propre, qui sont les résultats ultimes de la simulation.

La perte par propagation est purement basée sur la résolution d'équations relatives à la propagation du son sous la forme d'ondes planes ; la perte par réflexion, la correction de contournement et le bruit d'écoulement sont basés sur les résultats de mesurages en laboratoire - i.e. sur des ensembles de données à température ambiante (d'essai) comme toute donnée d'entrée considérée pour les matériaux -, avec une extrapolation pour les conditions thermodynamiques à envisager dans n'importe quel contexte de simulation.

Par conséquent, un résultat de calcul avec le Module 1 du logiciel de simulation SILDIS® e.g. le niveau de puissance acoustique avec silencieux, la perte d'insertion tenant compte du bruit d'écoulement, est obtenu au moyen d'une méthode qui n'est pas purement théorique mais en ligne avec des essais, lorsque la comparaison avec des mesures est appropriée. Par ailleurs, de nombreuses comparaisons ont été effectuées avec succès pour vérifier la cohérence des résultats obtenus d'une part avec le logiciel SILDIS® et d'autre part avec d'autres moyens d'évaluation reconnus, à la fois pour toutes les étapes de calcul telles qu'implémentées considérées séparément et - bien sûr - globalement.

Dans le cas d'une couche de matériau absorbant à réaction non locale (alors: possiblement isotrope ou anisotrope), le schéma de calcul est adapté pour prendre en compte la transmission du son à l'intérieur de l'absorbeur selon la direction de l'écoulement.

Dans le cas d'un silencieux comportant des cavités résonantes latérales partiellement remplies d'une structure insonorisante, le schéma de calcul est également ajusté en conséquence.

Caractéristiques principales et spéciales, effets remarquables pris en compte pour la prévision de la performance acoustique et aérodynamique (aérodynamique) de silencieux avec le Module 1 du logiciel SILDIS®

En ce qui concerne l'acoustique, les caractéristiques principales et spéciales du logiciel SILDIS® et les effets remarquables pris en compte en relation avec le calcul et le dimensionnement des silencieux avec le Module 1 peuvent être listés comme suit:

→ la conception est possible pour des structures acoustiques multicouches: la combinaison de matériaux la plus sophistiquée qui peut être envisagée (pour le revêtement/pour un demi-séparateur) est telle qu'indiquée sur la figure 9 (flux d'air selon l'axe x, épaisseur du revêtement/d'un demi-séparateur selon l'axe y)

Ainsi, la structure acoustique basant la simulation acoustique peut varier de la seule couche C (e.g. dans le cas d'un simple remplissage en mousse de mélamine non revêtue) jusqu'à une combinaison de plusieurs matériaux insonorisants comprenant des milieux poreux, des surfaçages en série, des protections perforées en série selon les besoins (e.g. la combinaison CDE peut être utilisée pour simuler un remplissage en laine minérale avec surfaçage et une protection perforée, à moins que la combinaison CGK ne soit utilisée lorsque toutes ces couches sont modélisées comme des milieux poreux [2]) (cf. fig. 9).

Pour chaque couche, s'agissant des données d'entrée caractérisant son comportement acoustique (milieu poreux [3] i.e. C, G, K, O ou surfaçage [4] i.e. D, H, L, P ou protection perforée i.e. E, I, M, Q [5]) l'utilisateur peut:

- soit les sélectionner à l'aide de matériaux référencés dans des bibliothèques dédiées intégrées au logiciel [6]
- soit les saisir directement (concept BYO [7])

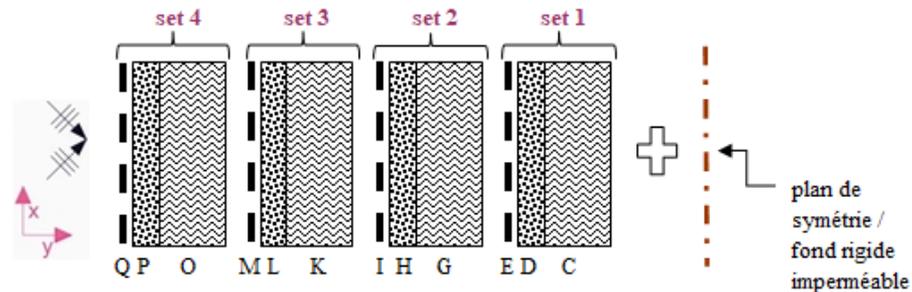


Fig. 9 Structure acoustique multicouche (i.e. combinaison de matériaux considérée pour la prévision des performances acoustiques des silencieux avec le Module 1 du logiciel SILDIS® - C, G, K, O : milieu poreux [3] - D, H, L, P : surfaçage [4] - E, I, M, Q : protection perforée [5])

- pour une structure acoustique comportant un milieu poreux (e.g. polyester, laine de roche, laine de basalte, laine de verre, mousse ... ou qui peut être de l'air ou un autre fluide): le comportement est pris en compte à un niveau d'échelle microscopique en relation avec les propriétés telles que la résistivité à l'écoulement (cf. fig. 10) et d'autres paramètres pour un matériau absorbant, soit à réaction locale soit à réaction globale, avec alors (dans ce dernier cas), pour la couche superficielle, une éventuelle inhomogénéité de propriétés telles que la résistivité à l'écoulement (σ_x , σ_y sur les figures ci-dessous) ou d'autres paramètres, dans des directions respectivement parallèle (x) ou perpendiculaire (y) à sa surface (cf. fig.11)

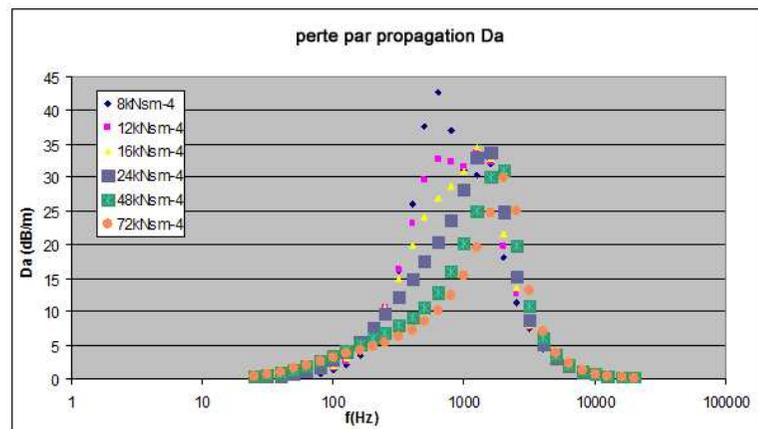


Fig. 10 Perte par propagation d'un silencieux - influence de la résistivité du garnissage absorbant les sons (e.g. lorsque variant de 8kNsm-4 à 72kNsm-4)

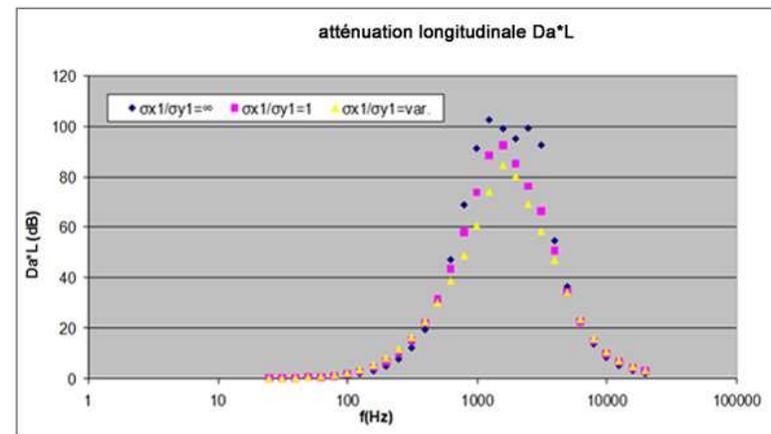


Fig. 11 Atténuation longitudinale d'un silencieux - influence de l'anisotropie du garnissage absorbant les sons (e.g. garnissage à réaction locale, garnissage isotropique, garnissage anisotropique)

- l'effet d'un garnissage absorbant les sons stratifié (chaque couche poreuse étant avec des propriétés différentes e.g. résistivité à l'écoulement ou d'autres paramètres) est pris en compte (cf.fig.12)
- l'effet d'un surfaçage (e.g. tissu, non-tissé) est pris en compte, tant pour ce qui concerne la résistance au passage de l'air (cf. fig. 13) que pour ce qui a trait à la vibration de la membrane ainsi constituée, ce qui permet de dimensionner, dans une certaine mesure (e.g. lorsqu'il s'agit d'une plaque non rigide ou bien pour laquelle la rigidité peut être prise en compte si les conditions de fixation sont connues avec précision), des silencieux non pas seulement purement dissipatifs mais aussi résonants e.g. lorsque l'on recherche une performance spécifiquement en basse fréquence (nonobstant les calculs possibles avec le Module 1B du logiciel SILDIS® pour la prévision des performances acoustiques et aérauliques de silencieux réactifs)

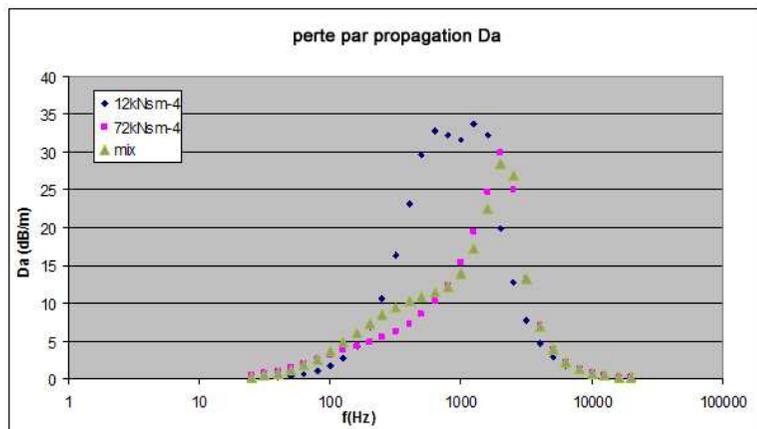


Fig. 12 Perte par propagation d'un silencieux - comparaison entre le garnissage insonorisant à un seul composant (e.g. avec résistivité 12kNsm-4 ou 72 kNsm-4) et bi-composant

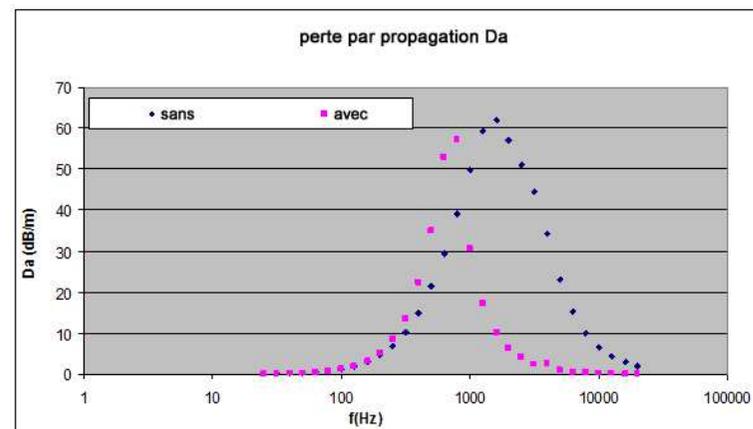


Fig. 13 Perte par propagation d'un silencieux - influence d'un surfaçage (avec ou sans)

- l'effet d'une protection perforée (e.g. tôle perforée à trous circulaires et maille carrée ou hexagonale, ou bien à trous carrés, et aussi: couche superficielle avec des fentes) est pris en compte (cf. fig.14): en termes de propagation du son à l'intérieur des perforations (perçages) et en termes d'interaction avec un milieu poreux à l'avant/à l'arrière
- la correction de contournement est prise en compte (cf. fig. 15)

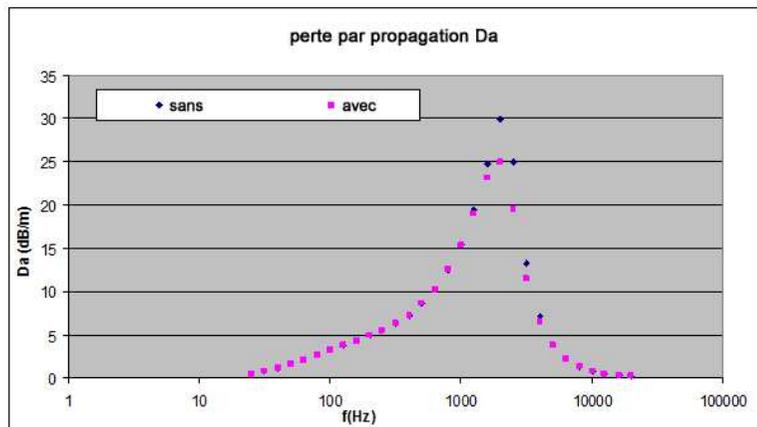


Fig. 14 Perte par propagation d'un silencieux - influence d'une protection perforée (avec ou sans)

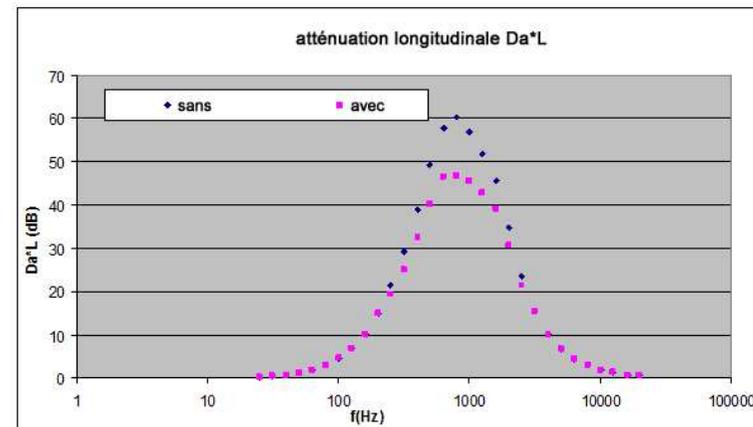


Fig. 15 Atténuation d'un silencieux: influence de la correction de contournement (avec ou sans)

- la perte par réflexion est prise en compte (cf. fig. 16)
- l'effet de la température est pris en compte (cf. fig. 17)

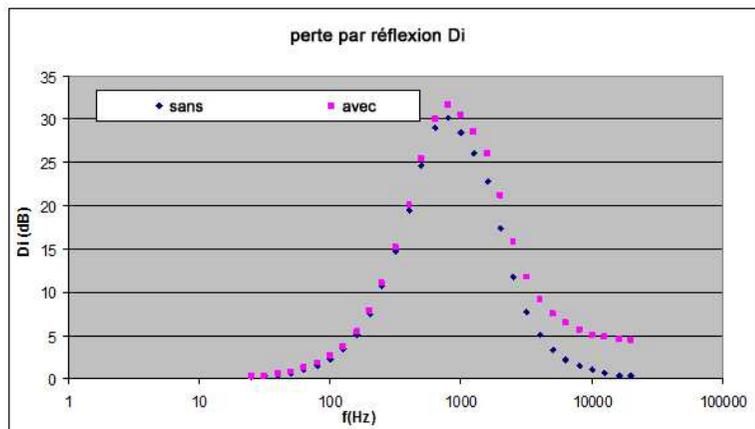


Fig. 16 Réduction du bruit au moyen d'un silencieux: influence de la perte par réflexion (avec ou sans)

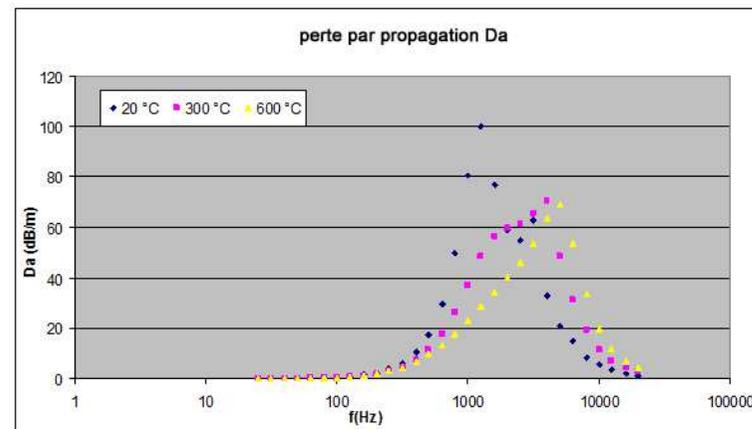


Fig. 17 Perte par propagation d'un silencieux - influence de la température (e.g. 20°C, 300°C, 600°C)

- l'effet de la pression est pris en compte (cf. fig. 18)
- les effets de la vitesse d'écoulement du fluide sont pris en compte: d'une part autrement que via le bruit propre (cf. fig. 19) - le distinguo est alors fait entre les cas où son et fluide se propagent soit dans des sens opposés (aspiration: signe moins pour la vitesse) soit dans le même sens (refoulement: signe plus pour la vitesse) -, et d'autre part via le bruit propre (cf. fig. 20)

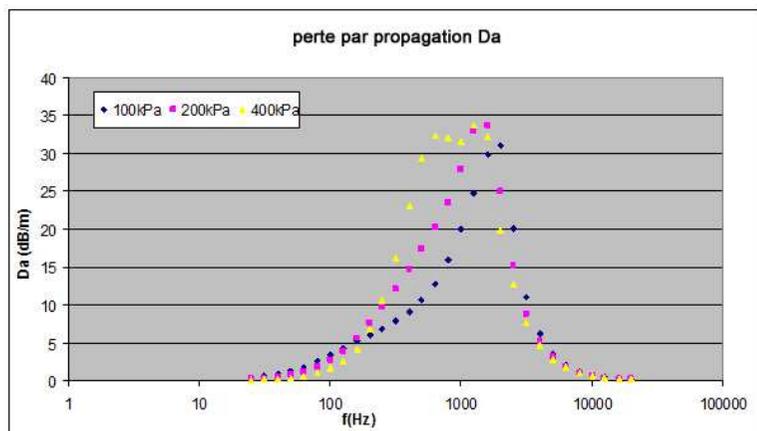


Fig. 18 Perte par propagation d'un silencieux - influence de la pression (e.g. 100kPa, 200 kPa, 400 kPa)

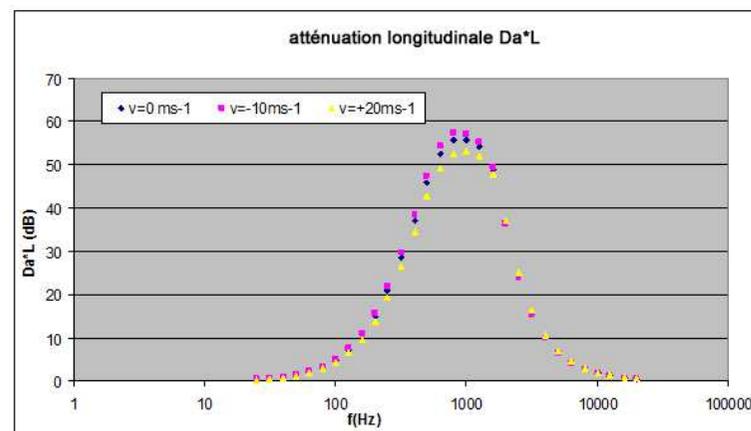


Fig. 19 Atténuation longitudinale d'un silencieux - influence de la vitesse du gaz (fluide) (e.g. 0 m/s, -10 m/s, 20 m/s)

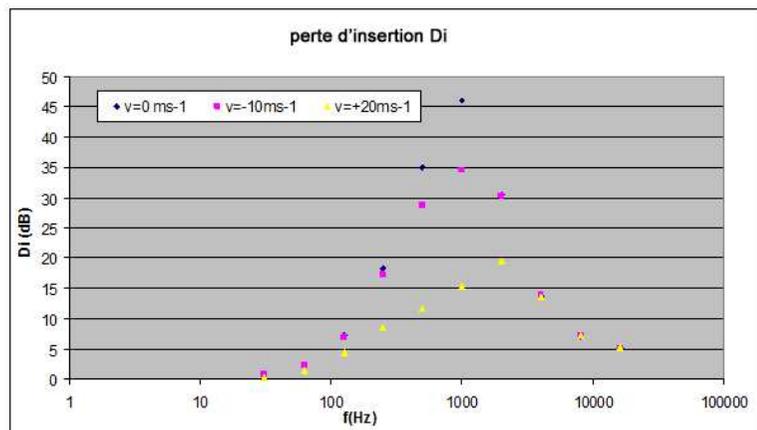


Fig. 20 Perte d'insertion d'un silencieux - influence du bruit d'écoulement (i.e. de la vitesse du gaz (fluide)) (e.g. 0 m/s, -10 m/s, 20 m/s)

En ce qui concerne l'aérodynamique (l'aérodynamique), différentes géométries pour les séparateurs/le revêtement absorbant les sons sont possibles en amont comme en aval e.g. extrémité de forme rectangulaire, semi-circulaire (ou encore plus aérodynamiquement profilé: en aval seulement).

Principaux résultats affichés (tableaux et graphiques) en termes de performance acoustique et aéraulique (aérodynamique) de silencieux avec le Module 1 du logiciel SILDIS®

Les principaux résultats affichés (tableaux et graphiques) en termes de performance acoustique et aéraulique (aérodynamique) de silencieux avec le Module 1 du logiciel SILDIS® sont les suivants:

- la perte d'insertion sans écoulement: par bande de fréquence de 1/3 d'octave et de 1/1 d'octave (ainsi que valeur globale pondérée A par rapport à un spectre de référence comme détaillé ci-dessous) pour 3 conditions de propagation du son à l'intérieur du garnissage absorbant qui sont usuelles (comme détaillé ci-dessous)
- la perte d'insertion avec écoulement sans bruit propre Di' (cf. fig. 21 et 22), détaillant l'atténuation longitudinale $Da.L$ (cf. fig. 23) en bande fine pour ce qui est de la courbe, la correction de contournement Dk (cf. fig. 24) et la perte de réflexion Dr (cf. fig. 25) en bande fine pour ce qui est de la courbe, tout cela par bande de fréquences de 1/3 d'octave et de 1/1 octave (ainsi qu'en valeur globale pondérée A par rapport à un spectre de référence saisi par l'utilisateur, par bandes de fréquences soit de 1/3 d'octave soit de 1/1 octave), pour 3 conditions de propagation du son à l'intérieur du revêtement qui sont usuelles, étant basées sur les hypothèses suivantes: rapport des résistivités selon les axes y et x i.e. σ_y/σ_x possiblement infini (absorbeur à réaction locale), égal à 1 (absorbeur isotrope) ou avec une valeur paramétrable (absorbeur anisotrope)

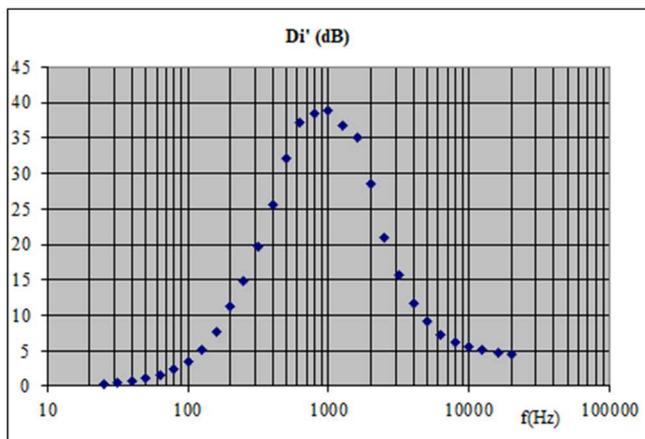


Fig. 21 Perte d'insertion d'un silencieux sans bruit propre i.e. sans bruit d'écoulement (courbe)

f (Hz)	Di' (dB)		f (Hz)	Di' (dB)	
	1/3 oct	1/1 oct		1/3 oct	1/1 oct
25	0.4	0.6	800	38.5	38.0
31.5	0.6		1k	38.9	
40	0.8		1,25k	36.8	
50	1.1	1.7	1,60k	35.0	24.8
63	1.6		2k	28.4	
80	2.4		2,50k	20.9	
100	3.5	5.2	3,15k	15.6	11.4
125	5.2		4k	11.6	
160	7.7		5k	9.1	
200	11.2	14.1	6,30k	7.3	6.3
250	14.9		8k	6.3	
315	19.8		10k	5.5	
400	25.6	29.3	12,50k	5.1	4.8
500	32.1		16k	4.7	
630	37.2		20k	4.5	
		ref: Lw0	A	11.6	ref: Lw0

Fig. 22 Perte d'insertion d'un silencieux sans bruit propre i.e. sans bruit d'écoulement (tableau)

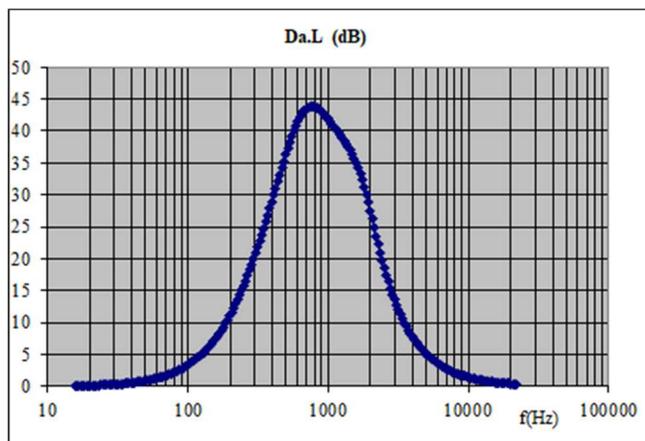


Fig. 23 Perte par propagation d'un silencieux en fonction de la fréquence

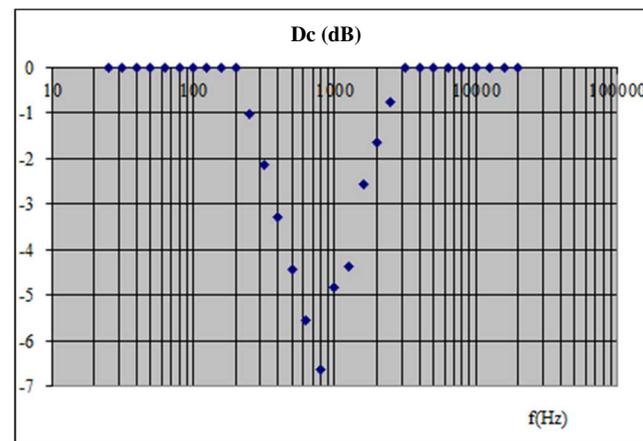


Fig. 24 Correction de contournement d'un silencieux

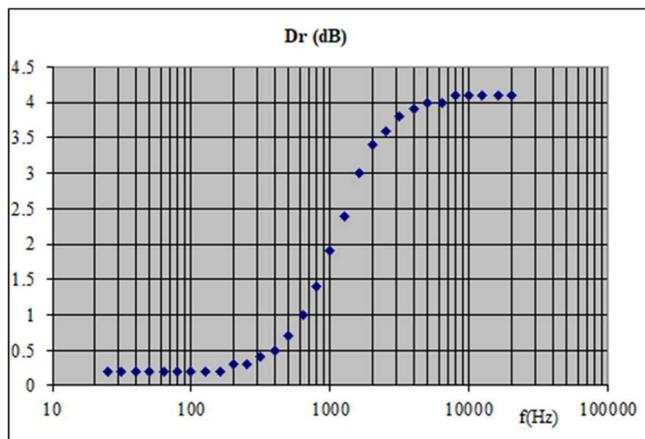


Fig. 25 Perte par réflexion d'un silencieux

- le bruit propre (niveau de puissance acoustique du bruit lié à l'écoulement) par bande de fréquences de 1/1 octave (ainsi qu'en valeur globale pondérée A)
- le niveau de puissance acoustique pondérée A et non pondérée A avec silencieux Lw1, par bande de fréquence de 1/1 octave et en valeur globale, pour 3 conditions de propagation du son à l'intérieur du garnissage absorbant qui sont usuelles (comme détaillé ci-dessus), qui peut être comparé (pour évaluer l'efficacité du dispositif d'insonorisation étudié) au niveau de puissance acoustique sans silencieux Lw0 (cf. fig. 26)
- la perte d'insertion avec écoulement et bruit propre, par bande de fréquence 1/3 d'octave et de 1/1 octave (ainsi qu'en valeur globale pondérée A par rapport à un spectre de référence tel que détaillé ci-dessus), pour 3 conditions de propagation du son à l'intérieur du garnissage absorbant qui sont usuelles (comme détaillé ci-dessus) (cf. fig. 27)

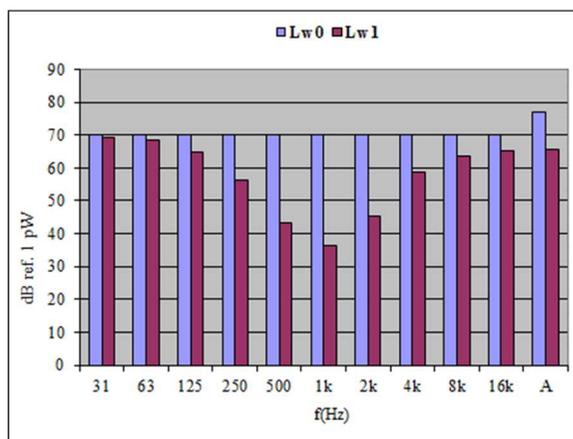


Fig. 26 Niveau de puissance acoustique avec ou sans silencieux

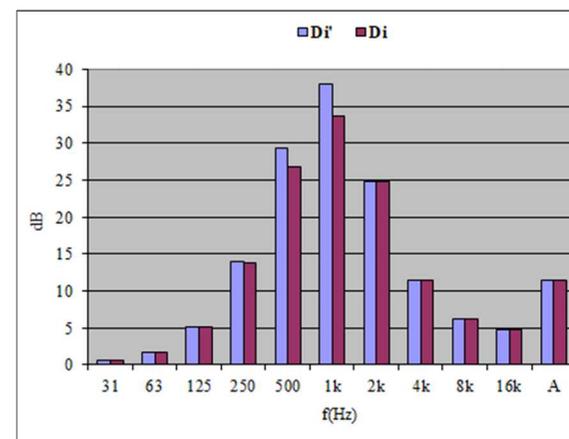


Fig. 27 Perte d'insertion d'un silencieux avec ou sans considération du bruit d'écoulement (i.e. du bruit propre), respectivement Di et Di'

- la perte de pression totale (et le coefficient de perte de pression totale adimensionnel)

Les résultats des calculs sont comparables avec la mesure normalisée: voir NF EN ISO 7235 Acoustique - Modes opératoires de mesure en laboratoire pour silencieux en conduit et unités terminales - Perte d'insertion, bruit d'écoulement et perte de pression totale.

Dans le cas où il ne s'agit pas de silencieux rectangulaires avec des séparateurs (baffles) dont la dimension transversale est (comme pour la figure 1) égale à la hauteur H du conduit, et s'il ne s'agit pas d'une configuration prévue dans le contexte du Module 1 du logiciel, des simulations sont également possibles avec le logiciel SILDIS® pour la prévision des performances acoustiques et aérauliques (aérodynamiques) de silencieux à séparateurs discontinus: cf. Module 1A.

Résultats complémentaires affichés (tableaux et graphiques) en termes d'acoustique avec le Module 1+ du logiciel SILDIS®

Avec le Module 1+ du logiciel SILDIS® (qui est une version étendue du Module 1), les résultats complémentaires affichés (tableaux et graphiques) en termes d'acoustique, pour la structure multicouche utilisée avec le Module 1 pour modéliser le revêtement/un demi séparateur (avec un fond rigide imperméable/un plan de symétrie), sont les suivants:

- l'impédance de surface: Z , quantité complexe i.e. avec une partie réelle et une partie imaginaire (cf. fig. 28 et fig. 29), par bande de fréquences de 1/3 et 1/1 d'octave, en bande fine pour ce qui est de la courbe ; et aussi: l'impédance normalisée Z/Z_0 (par rapport à l'impédance caractéristique Z_0 du fluide considéré, dans le contexte thermodynamique considéré)
- l'admittance de surface $G=1/Z$, quantité complexe i.e. avec une partie réelle et une partie imaginaire, sous la forme d'un tableau pouvant, après un simple copiage et un simple collage, constituer un fichier d'entrée pour des calculs avec d'autres outils (e.g. basés sur des méthodes par éléments finis ou par éléments frontières) lorsque ces derniers ne disposent pas, pour la détermination de ces grandeurs, de fonctionnalités aussi performantes que celles du logiciel SILDIS®
- le coefficient d'absorption en incidence normale: α_0 i.e. α_0 (cf. fig. 30) par bande de fréquences de 1/3 et 1/1 d'octave, en bande fine pour ce qui est de la courbe

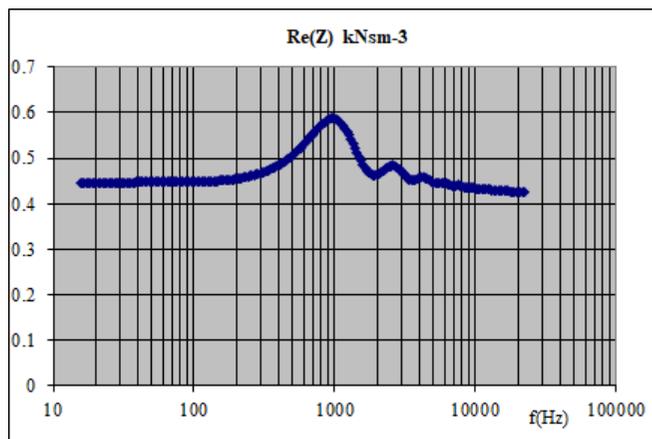


Fig. 28 Impédance de surface d'une structure acoustique multicouche: partie réelle

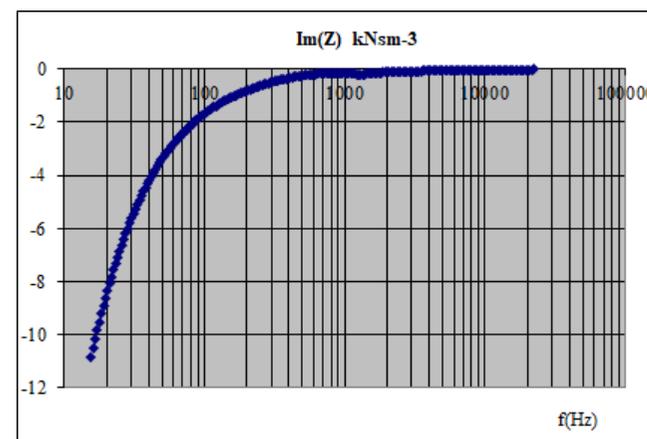


Fig. 29 Impédance de surface d'une structure acoustique multicouche: partie imaginaire

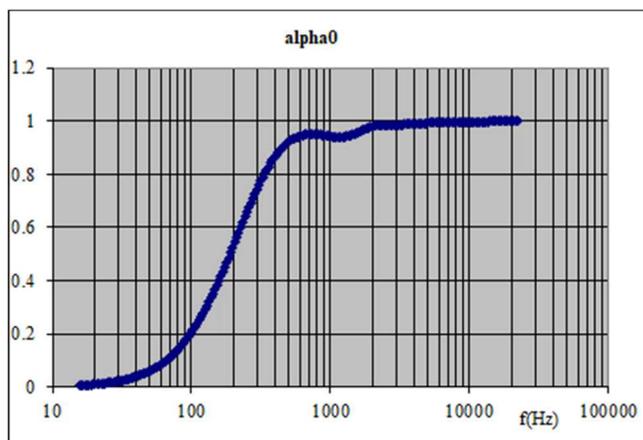


Fig. 30 Coefficient d'absorption acoustique en incidence normale d'une structure multicouche (avec un fond rigide imperméable)

Les résultats des calculs sont comparables à la mesure normalisée selon ISO 10534-1 Acoustique - Détermination du facteur d'absorption acoustique et de l'impédance acoustique à l'aide du tube d'impédance - Partie 1: Méthode du taux d'ondes stationnaires.

Ce n'est pas rien: les évaluations de Z et G comme mentionné ci-dessus peuvent être effectuées également en tenant compte d'un rayon de courbure, comme cela est nécessaire dans le cas de silencieux à section circulaire.

Complément à propos du Module 1A du logiciel SILDIS® pour la prévision des performances acoustiques et aérauliques (aérodynamiques) de silencieux à séparateurs discontinus

Si le contexte général d'utilisation des silencieux que le Module 1A permet de dimensionner est le même que celui prévalant pour l'utilisation du Module 1, ce qui a été mentionné plus haut à propos des applications possibles pour la prévision de la performance acoustique et aéraulique (aérodynamique) des silencieux avec le Module 1 du logiciel SILDIS doit, pour ce qui concerne le Module 1A, être amendé.

En effet, à la différence du Module 1, le Module 1A permet des calculs :

- pour des silencieux rectangulaires avec des séparateurs (baffles) dont la dimension transversale n'est pas (comme pour la figure 1) égale à la hauteur H du conduit, mais est inférieure, comme illustré sur la figure 31

→ pour des silencieux circulaires avec séparateur central non évidé comme illustré sur la figure 32 (pour laquelle seuls les paramètres géométriques la distinguent de la figure 4), avec une détermination de la performance qui n'est pas (alors que c'est le cas avec le Module 1) directement basée sur une approche analytique faisant intervenir des fonctions de Bessel et Neumann, dont l'évaluation peut présenter des imperfections en cas de silencieux de section transversale très grande ; il est mineur de savoir que le Module 1A a permis des calculs pour cette géométrie de silencieux bien avant qu'ils ne soient rendus possibles avec le Module 1, au prix de développements très importants.

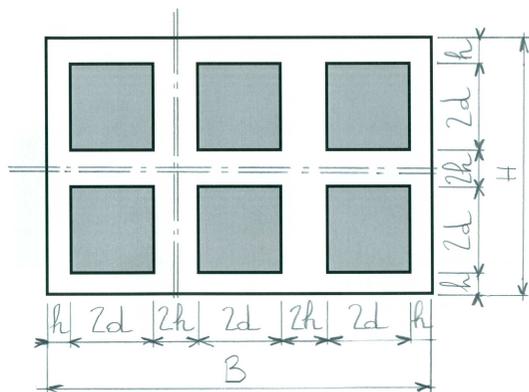


Fig. 31 Silencieux à section rectangulaire avec séparateurs discontinus

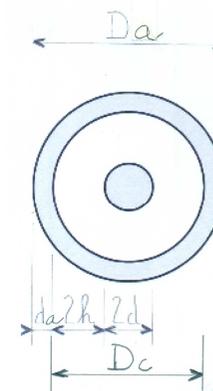


Fig. 32 Silencieux cylindrique avec séparateur central non évidé pour lequel les calculs sont possibles avec le Module 1A du logiciel SILDIS®

Ce qui a été mentionné plus haut à propos du schéma fonctionnel de calcul pour la prévision de la performance acoustique de silencieux dissipatifs avec le Module 1 et aussi à propos des caractéristiques principales et spéciales, et des effets remarquables pris en compte doit, pour ce qui concerne le Module 1A, être amendé.

En effet, à la différence du Module 1, l'évaluation de la perte par propagation est basée sur des interpolations et des extrapolations de valeurs de perte par propagation par unité de largeur de voie d'air (en faisant intervenir un paramètre adimensionnel combinant atténuation axiale & dimension des voies d'air) pour une série de valeurs d'un autre paramètre adimensionnel combinant dimension des voies d'air et longueur d'onde, issues d'une étude paramétrique multifactorielle de bases de données de résultats de simulation (avec des moyens autres que SILDIS), pour des combinaisons de taux de passage aéraulique et d'épaisseurs de matériaux (selon le cas: isotrope ou anisotrope, toutefois avec variabilité de la résistivité limitée, surfaçage et protection perforées supposées d'influence négligeable), et cela pour différentes valeurs du nombre de Mach (selon le cas: positives, négatives ou nulles).

Ce qui a été mentionné plus haut à propos des principaux résultats affichés (tableaux et graphiques) en termes de performance acoustique et aéraulique (aérodynamique) de silencieux avec le Module 1 du logiciel SILDIS® est également valable pour le Module 1A.

Ce qui peut être ajouté, en relation avec la prévision de la performance acoustique et aéraulique (aérodynamique) de silencieux avec les Modules 1 / 1+ / 1A du logiciel SILDIS®

Cet outil de calcul facile à utiliser, fiable et précis est particulièrement indiqué pour la mise au point d'atténuateurs de bruit dans de nombreux contextes:

- pour des applications ordinaires (e.g. dans le secteur du bâtiment: réseaux de ventilation et d'air conditionné): lorsque l'on souhaite préparer des mesurages en laboratoire (e.g. aux fins de disposer de procès-verbaux d'essais officiels) en optimisant les configurations testées et en limitant leur nombre ; lorsque l'on souhaite disposer d'évaluations de performance acoustique dont la précision se situe au-delà de celle correspondant à des valeurs fournies pour une large plage de vitesses d'air, sans distinction des sens respectifs de propagation du son et de l'écoulement d'air
- pour des applications spéciales (e.g. dans le secteur de l'industrie, mais pas seulement): lorsque l'on souhaite s'affranchir des limites liées au caractère par nature restreint des données résultant de mesurages en laboratoire - qui ne se rapportent en général qu'à des températures et pressions ordinaires, des matériaux de garnissage standards, des vitesses de fluides modérées, des combinaisons de paramètres géométriques (e.g. épaisseur du revêtement absorbant/des séparateurs, voies d'air, longueur) figés, pour lesquels les interpolations sont soumises à des incertitudes parfois significatives et pour lesquels les extrapolations sont risquées

La prévision de la performance acoustique et aéraulique (aérodynamique) de silencieux avec les Modules 1 / 1+ / 1A du logiciel SILDIS® peut être réalisée soit par la ressource humaine d'ITS (qui a développé et qui commercialise cet outil de simulation: l'édition de logiciels est une activité d'ITS évaluée conforme aux exigences de norme ISO 9001), soit en libre-service (avec abonnement) en mode ASP ^[8].

[1] https://www.its-acoustique.fr/images/stories/pdf/report_phrxx-008x.pdf

[2] certains surfaçages et certaines protections perforées peuvent également être considérées comme des milieux poreux pour le calcul

[3] caractéristiques prises en compte: résistivité, porosité, tortuosité, longueur caractéristique thermique, longueur caractéristique visqueuse, masse volumique, épaisseur

[4] caractéristiques prises en compte: résistance au passage de l'air, masse surfacique, épaisseur

[5] caractéristiques prises en compte: porosité, géométrie des perforations, masse surfacique, épaisseur

[6] sélectionné dans une bibliothèque du logiciel comprenant pour chaque type de couche plus de 20 matériaux référencés

[7] acronyme anglo-australien qui peut être traduit par "apportez le vôtre"

[8] acronyme anglais qui peut être traduit par Fourniture d'une Application Hébergée: à partir de 250 €/mois i.e. 277.50 US \$/mois ; le prix fixe est celui exprimé en € (le prix exprimé en US \$ est valable, comme le 5 décembre 2019, quand 1 € = 1.11 US \$) ; TVA au taux de 20 % en sus (si applicable, i.e. seulement pour des clients établis en France) ; frais de mise en service en sus