

ST -

# Norme

## NF EN ISO 7235

Février 2004

**AFNOR**  
Association Française  
de Normalisation

[www.afnor.fr](http://www.afnor.fr)

1er tirage

S31-127

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

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent document, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées. La violation de ces dispositions impératives soumet le contrevenant et toutes personnes responsables aux poursuites pénales et civiles prévues par la loi.

Imprimé par AFNOR le  
26 janvier 2004

pour  
AFNOR SAGA

*avec l'autorisation de l'Editeur*

**AFNOR**

norme européenne

NF EN ISO 7235

Février 2004

norme française

Indice de classement : S 31-127

ICS : 17.140.01 ; 91.120.20

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

E : Acoustics — Laboratory measurement procedures for ducted silencers and air-terminal units — Insertion loss, flow noise and total pressure loss

D : Akustik — Labormessungen an Schalldämpfern in Kanälen — Einfügingdämpfung, Strömungsgeräusch und Gesamtdruckverlust

### Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 20 janvier 2004 pour prendre effet le 20 février 2004.

Remplace la norme homologuée NF EN ISO 7235, de juillet 1995.

### Correspondance

La Norme européenne EN ISO 7235:2003 a le statut d'une norme française. Elle reproduit intégralement la Norme internationale ISO 7235:2003.

### Analyse

Le présent document prescrit les méthodes pour déterminer en laboratoire, la perte d'insertion, le bruit d'écoulement et la perte de pression totale des silencieux en conduit et unités terminales. Il ne s'applique pas aux silencieux réactifs utilisés pour les véhicules à moteur.

### Descripteurs

Thésaurus International Technique : acoustique, mesurage acoustique, conditionnement d'air, ventilation, ventilateur, conduit aéraulique, bruit acoustique, silencieux, écoulement d'air, définition, installation, puissance sonore, essai acoustique, essai de laboratoire, perte, mode opératoire.

### Modifications

Par rapport au document remplacé, les éléments suivants ont été introduit :

- un mode opératoire relatif à la perte de transmission ;
- un paragraphe sur les incertitudes de mesure ;
- un essai relatif à l'atténuation longitudinale ;
- la conversion des valeurs d'atténuation en bande de tiers d'octave en valeurs d'atténuation en bande d'octave ;
- des mesurages sur des silencieux de grande taille à baffles parallèles.

### Corrections



## Membres de la commission de normalisation

Président : M JACQUES

Secrétariat : MME RAMIREZ — AFNOR

M	ARCE	BRUEL & KJAER FRANCE
M	ASSELINEAU	PEUTZ ET ASSOCIES
M	AUFFRET	MAURICE AUFFRET BUREAU D ETUDES
MME	AULETTA	MME AULETTA NELIDA
M	BALANNEC	CRAM BRETAGNE
MME	BOUVENOT	AFNOR
M	CABARET	CRAM LANGUEDOC ROUSSILLON
M	CORLAY	CETIM
M	CYROT	SNI
M	DUSSART	IAC BOET STOPSON
M	FAIGET	01DB ACOUSTICS & VIBRATION
M	GAMBA	ACOUSTIQUE GAMBA ET ASSOCIES SA
MME	GAULUPEAU	BUREAU VERITAS
MME	GOURBIERE	EDF GDF SCAST
M	GUEDEL	CETIAT
MME	HUBERT	EUROGIP
M	JACQUES	JEAN JACQUES
M	LANGLE	CENMAGREF
M	LATOUCHE	THERMIBEL
M	LEFEBVRE	GRAMIF
M	LEGAL	APPAVE — APAVE PARISIENNE
M	LOUIT	DRT — DION RELATIONS TRAVAIL
MME	LUBINEAU	UNM
M	MAURIN	EUROACOUSTIC SA
M	MONNET	MFP MICHELIN
M	SCHIEL	RENAULT SAS
M	SERVANT	SOCOTEC
M	THIERY	INRS
MME	VIOLLON	EDF R&D
M	VOUAGNER	METRAVIB RDS
M	WEIL	SAINT GOBAIN ECOPHON

## Avant-propos national

### Références aux normes françaises

La correspondance entre les normes mentionnées à l'article «Références normatives» et les normes françaises identiques est la suivante :

ISO 3741	: NF EN ISO 3741 (indice de classement : S 31-022)
ISO 3746	: NF EN ISO 3746 (indice de classement : S 31-027)
ISO 5167-1	: NF EN ISO 5167-1 (indice de classement : X 10-102-1)
ISO 9614-3	: NF EN ISO 9614-3 (indice de classement : S 31-100-3)
CEI 61260	: NF EN 61260 (indice de classement : C 97-010)

La correspondance entre la norme mentionnée à l'article «Références normatives» et la norme française de même domaine d'application mais non identique est la suivante :

ISO 5221	: X 10-231
----------	------------

Les autres normes mentionnées à l'article «Références normatives» qui n'ont pas de correspondance dans la collection des normes françaises sont les suivantes (elles peuvent être obtenues auprès d'AFNOR) :

CEI 60651
CEI 60804
CEI 60942

**Version française**

**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  
(ISO 7235:2003)**

Akustik — Labormessungen an Schalldämpfern  
in Kanälen — Einfügungsdämpfung,  
Strömungsgeräusch und Gesamtdruckverlust  
(ISO 7235:2003)

Acoustics — Laboratory measurement procedures  
for ducted silencers and air-terminal units —  
Insertion loss, flow noise and total pressure loss  
(ISO 7235:2003)

La présente norme européenne a été adoptée par le CEN le 20 juin 2003.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la norme européenne.

Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Secrétariat Central ou auprès des membres du CEN.

La présente norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version faite dans une autre langue par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale, et notifiée au Secrétariat Central, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Suède et Suisse.

**CEN**

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Europäisches Komitee für Normung  
European Committee for Standardization

Secrétariat Central : rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles

### **Avant-propos**

Le présent document (EN ISO 7235:2003) a été élaboré par le Comité Technique ISO/TC 43 «Acoustique» en collaboration avec le Comité Technique CEN/TC 211 «Acoustique», dont le secrétariat est tenu par le DS.

Cette Norme européenne devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en février 2004, et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en février 2004.

Le présent document remplace l'EN ISO 7235:1995.

Le présent document a été élaboré dans le cadre d'un mandat donné au CEN par la Commission Européenne et l'Association Européenne de Libre Échange et vient à l'appui des exigences essentielles de la (de) Directive(s) UE.

Pour la relation avec la (les) Directive(s) UE, voir l'annexe ZB informative, qui fait partie intégrante du présent document.

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette Norme européenne en application : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Suède et Suisse.

### **Notice d'entérinement**

Le texte de l'ISO 7235:2003 a été approuvé par le CEN comme EN ISO 7235:2003 sans aucune modification.

NOTE Les références normatives aux Normes internationales sont mentionnées en annexe ZA (normative).

**Annexe ZA**  
(normative)**Références normatives aux publications internationales  
avec leurs publications européennes correspondantes**

Cette Norme européenne comporte par référence datée ou non datée des dispositions issues d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à cette Norme européenne que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique (y compris les amendements).

NOTE Dans le cas où une publication internationale est modifiée par des modifications communes, indiqué par (mod.) l'EN/le HD correspondant(e) s'applique.

<b>Publication</b>	<b>Année</b>	<b>Titre</b>	<b>EN</b>	<b>Année</b>
ISO 3741	1999	Acoustique — Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique — Méthodes de laboratoire en salles réverbérantes	EN ISO 3741	1999
ISO 3746	1995	Acoustique — Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique — Méthode de contrôle employant une surface de mesure enveloppante au-dessus d'un plan réfléchissant.	EN ISO 3746	1995
ISO 9614-3	2002	Acoustique — Détermination par intensimétrie des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit — Partie 3 : Méthode de précision pour mesurage par balayage	EN ISO 9614-3	2002

**Annexe ZB**  
(Informative)

**Relation entre la présente norme et les Directives CE**

La présent document a été élaboré dans le cadre d'un Mandat donné au CEN par la Commission Européenne et l'Association Européenne de Libre Échange et vient à l'appui des exigences essentielles des Directives CE suivantes :

Directive Machines 98/37/CE, modifiée par la Directive 98/79/CE

La conformité avec le présent document est un des moyens de satisfaire aux exigences essentielles spécifiques de la Directive concernée et des règlements correspondants de l'AELE.

**AVERTISSEMENT : D'autres exigences et d'autres Directives UE peuvent être applicables au(x) produit(s) relevant du domaine d'application du présent document.**

## Sommaire

Page

Avant-propos .....	iv
Introduction .....	v
1 <b>Domaine d'application</b> .....	1
2 <b>Références normatives</b> .....	2
3 <b>Termes et définitions</b> .....	2
4 <b>Symboles</b> .....	7
5 <b>Installations d'essai et appareillage de mesure</b> .....	9
5.1 <b>But et types d'installations d'essai</b> .....	9
5.2 <b>Équipement pour l'essai acoustique des silencieux</b> .....	9
5.3 <b>Équipement pour l'essai acoustique des unités terminales</b> .....	15
5.4 <b>Équipement pour l'essai d'écoulement</b> .....	16
5.5 <b>Équipement pour essai dynamique</b> .....	21
6 <b>Modes opératoires d'essai</b> .....	22
6.1 <b>Généralités</b> .....	22
6.2 <b>Perte d'insertion</b> .....	22
6.3 <b>Perte de transmission</b> .....	24
6.4 <b>Niveau de puissance acoustique du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré)</b> .....	24
6.5 <b>Débit-volume et coefficient de perte de pression</b> .....	25
7 <b>Informations à consigner</b> .....	29
7.1 <b>Description de l'objet en essai</b> .....	29
7.2 <b>Appareillage</b> .....	29
7.3 <b>Source sonore</b> .....	29
7.4 <b>Conduits de mesurage, de substitution et éléments de transmission</b> .....	30
7.5 <b>Pièces de raccordement</b> .....	30
7.6 <b>Terminaison anéchoïque</b> .....	30
7.7 <b>Salle réverbérante</b> .....	30
7.8 <b>Résultats de l'essai acoustique</b> .....	30
7.9 <b>Incertitude de mesure</b> .....	31
8 <b>Informations à fournir dans le rapport d'essai</b> .....	31
<b>Annexe A (normative) Conception du dispositif d'excitation du champ acoustique et essais de qualification</b> .....	32
<b>Annexe B (normative) Élément de transmission</b> .....	34
<b>Annexe C (normative) Parois du conduit et perte limite d'insertion</b> .....	37
<b>Annexe D (normative) Conversion des valeurs d'atténuation en bande de tiers d'octave en valeurs d'atténuation en bande d'octave</b> .....	40
<b>Annexe E (normative) Mesurages sur des silencieux de grande taille à baffles parallèles</b> .....	41
<b>Annexe F (normative) Essai relatif à l'atténuation longitudinale</b> .....	44
<b>Annexe G (informative) Terminaisons anéchoïques</b> .....	45
<b>Annexe H (informative) Exemples de dispositifs de mesure</b> .....	47
<b>Bibliographie</b> .....	49

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO 7235 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 43, *Acoustique*, sous-comité SC 1, *Bruit*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 7235:1991), dont elle constitue une révision technique.

## Introduction

La présente Norme internationale prescrit la méthode par substitution pour déterminer la perte d'insertion des silencieux en conduit et une méthode pour déterminer la perte de transmission des unités terminales.

Selon la méthode par substitution, le niveau de pression acoustique de l'onde transmise est d'abord déterminé pour l'objet en essai, puis lorsque ce dernier est remplacé par le conduit de substitution. Le niveau de pression acoustique de l'onde transmise peut être mesuré

- dans une salle réverbérante,
- dans un conduit de mesurage après le silencieux, ou
- dans des conditions approchant celles du champ libre.

Les méthodes sont énumérées par ordre de préférence.

La performance acoustique des silencieux dépend de la composition modale du champ acoustique côté entrée et des réflexions côté sortie, de la transmission latérale et des différences de niveau entre les signaux et le bruit d'écoulement (ou bruit régénéré).

La présente Norme internationale décrit des configurations côté entrée fournissant un mode fondamental prédominant qui subit l'atténuation la plus faible. Côté sortie, elle décrit des terminaisons anéchoïques et des modes opératoires de mesure insensibles aux réflexions ou permettant des corrections spécifiées. En outre, la présente Norme internationale fournit des lignes directrices sur la suppression de la transmission latérale et des signaux de bruit.

La perte de transmission d'une unité terminale est déterminée à partir des résultats de mesurage en salle réverbérante et des coefficients de réflexion théoriques d'un conduit de substitution.

La valeur de la perte d'insertion d'un silencieux est généralement affectée par l'écoulement d'air. La perte d'insertion doit donc être, de préférence, mesurée avec un flux d'air surimposé si l'on doit utiliser le silencieux dans des conduits avec une vitesse d'écoulement élevée.

Dans le cas de silencieux absorbants pour lesquels la vitesse d'écoulement interne maximale n'atteint pas 20 m/s, l'écoulement aura peu d'effet sur la perte d'insertion. En pratique, les répartitions de débit ne seront pas uniformes. Par conséquent, la vitesse limite de 20 m/s peut correspondre à une vitesse de conception de 10 m/s à 15 m/s.

Un écoulement d'air à travers un silencieux régénère le bruit. Ce bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) donne la valeur inférieure du niveau de pression acoustique que l'on peut obtenir après le silencieux. Par conséquent, il faut connaître le niveau de puissance acoustique du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) à l'arrière du silencieux. Sa détermination s'effectue de préférence dans une salle réverbérante reliée à l'objet par un élément de transmission.

Conformément à la présente Norme internationale, la perte de pression totale du silencieux à utiliser avec écoulement doit être déterminée. Par conséquent, il est utile d'équiper l'installation d'essai des instruments et des dispositifs nécessaires à la détermination de la perte de pression totale.

# 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

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale prescrit les méthodes pour déterminer

- la perte d'insertion de silencieux en conduit en présence et en l'absence d'écoulement d'air, par bande de fréquences,
- le niveau de puissance acoustique du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) généré par des silencieux en conduit, par bande de fréquences,
- la perte de pression totale du silencieux avec écoulement d'air, et
- la perte de transmission des unités terminales, par bande de fréquences.

Les modes opératoires de mesure sont destinés aux mesurages en laboratoire, à température ambiante. Les mesurages sur des silencieux in situ sont spécifiés dans l'ISO 11820.

Il convient de noter que les résultats obtenus en laboratoire conformément à la présente Norme internationale ne seront pas nécessairement identiques à ceux obtenus in situ (installation), étant donné que différents champs acoustiques et champs de propagation donneront des résultats différents. La perte de pression sera, par exemple, inférieure dans les conditions de laboratoire à celle obtenue in situ mais sera comparable entre différents laboratoires.

La présente Norme internationale s'applique à tout type de silencieux, y compris les silencieux pour ventilateurs et systèmes de conditionnement d'air, épuration des fumées et applications similaires. Il est également possible de soumettre à l'essai selon la présente Norme internationale d'autres dispositifs passifs de traitement de l'air, tels que des coudes, des unités terminales ou des raccords en T.

La présente Norme internationale ne s'applique pas aux silencieux réactifs utilisés pour les véhicules à moteur.

**NOTE 1** L'Annexe A spécifie la conception d'un dispositif d'excitation du champ acoustique. L'Annexe B spécifie les exigences relatives à un élément de transmission. L'Annexe C donne des détails des parois du conduit et de la perte limite d'insertion. L'Annexe D spécifie la conversion des valeurs d'atténuation en bande de tiers d'octave en valeurs d'atténuation en bande d'octave. L'Annexe E spécifie les exigences relatives aux mesurages sur des silencieux de grande taille à baffes parallèles. L'Annexe F spécifie un essai relatif à l'atténuation longitudinale. L'Annexe G donne des lignes directrices relatives aux terminaisons anéchoïques et l'Annexe H montre des exemples de dispositifs de mesure.

**NOTE 2** Il convient d'effectuer l'essai acoustique des bouches d'air et des ventilo-convecteurs de la même manière que pour les unités terminales.

**NOTE 3** Les mesurages de la puissance acoustique effectués sur des unités terminales sont spécifiés dans l'ISO 5135. Les mesurages de la perte de pression des unités terminales sont décrits dans les EN 12238, EN 12239 et EN 12589.

## 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 3741:1999, *Acoustique — Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique — Méthodes de laboratoire en salles réverbérantes*

ISO 3746, *Acoustique — Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique — Méthode de contrôle employant une surface de mesure enveloppante au-dessus d'un plan réfléchissant*

ISO 5167-1, *Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire — Partie 1: Principes généraux et exigences générales*

ISO 5221, *Distribution et diffusion d'air — Règles pour la technique de mesure du débit d'air dans un conduit aéraulique*

ISO 9614-3, *Acoustique — Détermination par intensimétrie des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit — Partie 3: Méthode de précision pour mesurage par balayage*

CEI 60651:2001, *Sonomètres*

CEI 60804:2000, *Sonomètres intégrateurs-moyenneurs*

CEI 60942:1997, *Électroacoustique — Calibreurs acoustiques*

CEI 61260, *Électroacoustique — Filtrés de bande d'octave et de bande d'une fraction d'octave*

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

### 3.1

#### perte d'insertion

$D_i$

(de l'objet en essai) réduction du niveau de puissance acoustique dans le conduit derrière l'objet en essai, causée par l'insertion de l'objet en essai dans le conduit à la place d'un conduit de substitution, donnée par l'équation

$$D_i = L_{B\Pi} - L_{B\Gamma} \quad (1)$$

où

$L_{B\Gamma}$  est le niveau de puissance acoustique dans la bande de fréquences considérée, dans le conduit de mesurage ou dans la salle réverbérante connectée, lorsque l'objet en essai est installé;

$L_{B\Pi}$  est le niveau de puissance acoustique dans la bande de fréquences considérée, dans le conduit de mesurage ou dans la salle réverbérante connectée, lorsque le conduit de substitution remplace l'objet en essai.

NOTE 1 La perte d'insertion est exprimée en décibels (dB).

NOTE 2 Dans le cadre des mesurages effectués conformément à la présente Norme internationale, la perte d'insertion d'un silencieux est égale à sa perte de transmission.

**3.2****perte de transmission** $D_t$ 

(d'une unité terminale) différence entre le niveau de la puissance acoustique incidente et le niveau de la puissance acoustique transmise à travers l'objet en essai

NOTE 1 La perte de transmission est exprimée en décibels (dB).

NOTE 2 Adapté de l'ISO 11820:1996.

**3.3****vitesse frontale** $v_f$ 

vitesse à l'avant de l'objet en essai

$$v_f = \frac{q_T}{S_1} \quad (2)$$

où

$q_T$  est le débit-volume, en mètres cubes par seconde ( $m^3/s$ );

$S_1$  est l'aire de la section droite d'entrée (ou frontale) de l'objet en essai, en mètres carrés ( $m^2$ ).

NOTE La vitesse frontale est exprimée en mètres par seconde (m/s).

**3.4****perte de pression totale** $\Delta p_t$ 

(de l'objet en essai) différence des pressions totales en amont et en aval de l'objet en essai

NOTE La perte de pression totale est exprimée en pascals (Pa).

**3.5****coefficient de perte de pression totale** $\zeta$ 

perte de pression totale divisée par la pression cinétique en amont de l'objet en essai, donnée par la formule

$$\zeta = \frac{\Delta p_t}{\frac{1}{2} \rho_1 v_f^2} \quad (3)$$

où

$\Delta p_t$  est la perte de pression totale, en pascals (Pa);

$\rho_1$  est la masse volumique de l'air en amont du silencieux, en kilogrammes par mètre cube ( $kg/m^3$ );

$v_f$  est la vitesse frontale, en mètres par seconde (m/s) (voir 3.3).

**3.6****à l'avant**

indication de la position par rapport à la direction de propagation du signal acoustique à mesurer, correspondant au «côté source»

**3.7**

**à l'arrière**

indication de la position par rapport à la direction de propagation du signal acoustique à mesurer, correspondant au «côté réception»

**3.8**

**conduit de mesurage**

conduit rectiligne, à parois dures, de section uniforme, situé à l'avant et à l'arrière de l'objet en essai

**3.9**

**pièce de raccordement**

élément de conduit qui raccorde deux conduits de sections différentes

NOTE On considère que les pièces de raccordement qui accompagnent un silencieux livré par le fabricant/fournisseur font partie de l'objet en essai.

**3.10**

**terminaison anéchoïque**

dispositif conçu pour réduire les réflexions acoustiques côté réception du conduit de mesurage

**3.11**

**élément de transmission**

raccord entre le conduit de mesurage à l'arrière de l'objet en essai et la salle réverbérante, transmettant une partie de l'énergie acoustique du conduit vers la salle

**3.12**

**conduit de substitution**

élément de conduit rigide, non absorbant et ayant la même longueur et les mêmes sections de raccordement que l'objet en essai

**3.13**

**salle réverbérante**

salle d'essai conforme aux exigences de l'ISO 3741

[ISO 3741:1999]

**3.14**

**bruit régénéré**

**bruit d'écoulement**

bruit engendré par les conditions d'écoulement dans l'objet en essai

NOTE Adapté de l'ISO 14163:1998.

**3.15**

**niveau de bruit de fond**

niveau de pression acoustique indiqué par l'appareillage de mesure quand les mesurages sont effectués conduit de substitution en place, haut-parleur éteint

NOTE 1 Le niveau de bruit de fond est exprimé en décibels (dB).

NOTE 2 Adapté de l'ISO 11200:1995.

NOTE 3 Les principaux éléments qui constituent le bruit de fond sont:

- le bruit d'écoulement produit par le ventilateur;
- le bruit d'écoulement généré au niveau du microphone;
- le bruit d'écoulement produit par le système de conduits;

- le bruit solidien émis par le ventilateur, se propageant le long des parois du conduit jusqu'à la position de mesurage;
- le bruit aérien rayonné par le ventilateur ou par le système de haut-parleurs dans la salle d'essai et parvenant au microphone au travers des parois du conduit;
- le bruit électrique de l'appareillage de mesure.

NOTE 4 La transmission latérale du bruit issu du haut-parleur ou du bruit d'écoulement généré par l'objet en essai ne fait pas partie du bruit de fond mais détermine la perte limite d'insertion.

### 3.16

#### coefficient de réflexion

$r$

rapport de l'amplitude de la pression acoustique de l'onde réfléchie à l'amplitude de pression acoustique de l'onde incidente sur l'objet réfléchissant

NOTE Adapté de l'ISO 5136:1990.

### 3.17

#### domaine de fréquences représentatif

bandes de tiers d'octave de fréquences médianes comprises entre 50 Hz et 10 000 Hz

NOTE Pour certaines applications, il peut être suffisant d'effectuer les mesurages dans le domaine de fréquences de 100 Hz à 5 000 Hz.

### 3.18

#### perte limite d'insertion

perte d'insertion maximale qui peut être mesurée sans écoulement dans une installation d'essai donnée

NOTE 1 La perte limite d'insertion est exprimée en décibels (dB).

NOTE 2 Elle est généralement déterminée par la transmission latérale le long des parois du conduit.

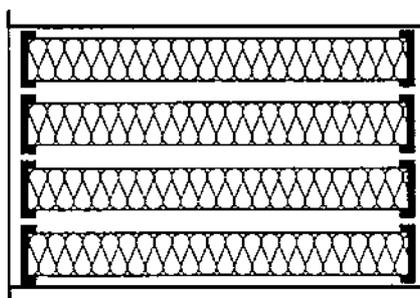
### 3.19

#### objet en essai

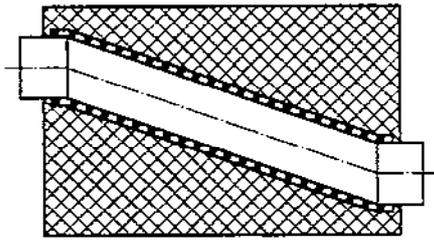
silencieux complet, livré par le fabricant/fournisseur, un ou plusieurs baffles parallèles installés dans un conduit de substitution, ou une unité terminale, prêt à être installé sur le dispositif d'essai, comprenant un boîtier et des ouvertures d'entrée et de sortie à connecter aux conduits

NOTE 1 La Figure 1 et l'Annexe E donnent des exemples de silencieux. L'Article 1 énumère d'autres éléments auxquels s'applique la méthode de la présente Norme internationale.

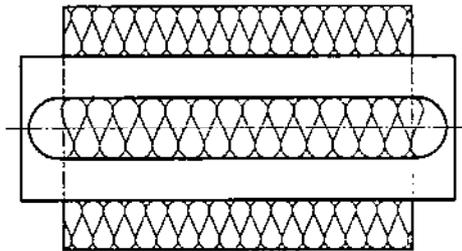
NOTE 2 On utilise également le terme «séparateurs» pour «baffles parallèles».



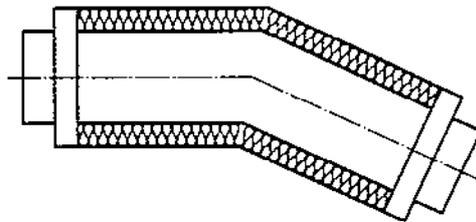
a) Silencieux à baffles parallèles sans pièces de raccordement



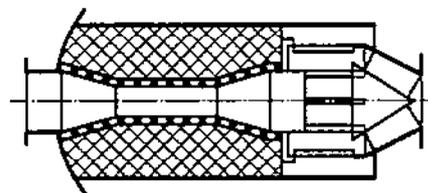
b) Silencieux à décalage



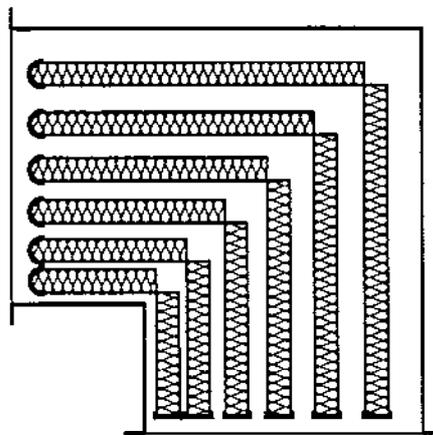
c) Silencieux circulaire avec caisse concentrique



d) Silencieux flexible



e) Silencieux à pare-étincelles



f) Silencieux coudé

NOTE Un axe est tracé uniquement pour les objets en essai présentant une section à symétrie de révolution.

Figure 1 — Exemples de silencieux

## 4 Symboles

Les symboles sont énumérés dans le Tableau 1. La signification des indices utilisés dans la présente Norme internationale est incluse dans le Tableau 2.

Tableau 1 — Symboles

Symbole	Définition	Unité	Référence
$C$	Différence de niveau entre la puissance acoustique rayonnée dans la salle réverbérante et le niveau de pression acoustique moyen dans la salle réverbérante	dB	6.4
$c$	Vitesse du son	m/s	5.2.2.3, B.3
$D_a$	Perte de propagation	dB/m	Annexe F
$D_i$	Perte d'insertion	dB	3.1, 6.2, 6.3, A.4
$D_t$	Perte de transmission	dB	3.2, 6.3
$D_{td}$	Perte de transmission de l'extrémité ouverte de l'objet en essai	dB	6.3, 6.4, B.3
$d$	Diamètre du conduit	m	5.2.2.3, G.1.4
$d_e$	Diamètre équivalent	m	6.5.2.2.1
$f$	Fréquence	Hz	B.3
$f_C$	Fréquence de coupure des modes d'ordre supérieur dans le conduit	Hz	B.2.2, G.2.2, G.2.3.7
$f_{Cd}$	Fréquence de coupure des modes d'ordre supérieur dans le conduit de section circulaire	Hz	5.2.2.3
$f_{Ch}$	Fréquence de coupure des modes d'ordre supérieur dans le conduit de section rectangulaire	Hz	5.2.2.3
$H$	Hauteur (du silencieux ou de la maquette)	m	5.2.2.3, Annexe E
$l_{min}$	Longueur minimum de la pièce de raccordement	m	5.4.2.3, Figure 7
$L_p$	Niveau de pression acoustique	dB	6.2, 6.3, 6.4
$L_W$	Niveau de puissance acoustique	dB	3.1, 6.4
$p$	Pression	Pa	Figure 6, Tableau 4, 6.5.2.1, 6.5.2.2.1, 6.5.2.2.2, Figure 9, 6.5.2.2.3
$q_m$	Débit-masse	kg/s	5.4.2.2, 6.5.1
$q_V$	Débit-volume	m <sup>3</sup> /s	3.3, Tableau 3, 6.5.1, 6.5.2.1, 6.5.2.2.1, 6.5.2.2.2, Figure 9, 6.5.2.2.3
$R$	Constante spécifique des gaz pour l'air, $R = 287 \text{ Nm/kg}\cdot\text{K}$	N·m/kg·K	6.5.2.1, 6.5.2.2.3
$r$	Coefficient de réflexion	sans dimension	3.16, 5.4.2.6, Tableau 5, B.2.1, B.3, G.2.1, G.2.3.6
$r_t$	Rayon de giration	m	5.2.2.4.3, Figure 4
$S$	Aire de la section droite, général	m <sup>2</sup>	6.5.2.1, B.3, Annexe E

Tableau 1 (suite)

Symbole	Définition	Unité	Référence
$S_1$	Aire de la section droite du conduit de mesurage, entrée	m <sup>2</sup>	3.3, Figure 6, Figure 7, 6.5.2.1, 6.5.2.2.2, 6.5.2.2.3
$S_2$	Aire de la section droite du conduit de mesurage, sortie	m <sup>2</sup>	Figure 7, 6.5.2.1
$S_T$	Aire de la section droite de l'objet en essai	m <sup>2</sup>	Figure 6
$s$	Largeur de voie pour le silencieux à baffles	m	Annexe E
$t_b$	Épaisseur de baffle	m	Figure 6, Annexe E
$v_f$	Vitesse frontale	m/s	3.3, 3.5
$w$	Largeur (du silencieux ou de la maquette)	m	Annexe E
$\Delta L$	Différence entre les niveaux de pression acoustique maximaux et minimaux d'une onde stationnaire dans le conduit	dB	B.2.1, G.2.1, G.2.3.6
$\Delta p$	Différence de pression	Pa	3.4, 3.5, 6.5.2.1, 6.5.2.2.2, Figure 6
$\zeta$	Coefficient de perte de pression totale	sans dimension	3.5, 6.5.2.1, 6.5.2.2.2, 6.5.2.2.3, 7.8
$\theta_1$	Température en amont de l'objet en essai	°C	6.5.2.1, 6.5.2.2.1, 6.5.2.2.3
$\rho_1$	Masse volumique de l'air en amont de l'objet en essai	kg/m <sup>3</sup>	3.5, 6.5.1, 6.5.2.2.3
$\sigma_{Ri}$	Écart-type de reproductibilité de la perte d'insertion	dB	7.9, Tableau 7
$\sigma_{RI}$	Écart-type de reproductibilité du niveau d'intensité	dB	7.9, Tableau 7
$\sigma_{Rt}$	Écart-type de reproductibilité de la perte de transmission	dB	7.9, Tableau 7
$\Omega$	Angle solide du rayonnement acoustique à l'extrémité du conduit	sr	B.3

Tableau 2 — Indices

Indice	Signification
a	Ambiant
d	Dynamique
i	Insertion
I	Intensité
n	Relatif au débit d'air au milieu de la plage concernée
R	Équipement côté réception
R	Reproductibilité
S	Source sonore
s	Statique
t	Transmission
T	Objet en essai
tot	Total
I	Lorsque l'objet en essai est installé
II	Lorsque l'objet en essai est remplacé par le conduit de substitution

## 5 Installations d'essai et appareillage de mesure

### 5.1 But et types d'installations d'essai

Différentes installations d'essai sont spécifiées en fonction de la tâche à effectuer, comme suit.

- a) L'essai acoustique sans écoulement d'air est effectué pour déterminer la perte d'insertion d'un silencieux complet, prêt à être monté dans l'installation d'essai et susceptible d'être remplacé par un conduit de substitution (ou par une série de baffles insérés dans ce conduit et dont la hauteur minimale doit être égale à l'épaisseur d'un baffle), lorsque l'effet de l'écoulement d'air sur le résultat d'essai est négligeable (par exemple pour les silencieux absorbants avec une vitesse d'écoulement inférieure à 20 m/s).
- b) L'essai acoustique sans écoulement d'air est également effectué pour déterminer la perte de transmission d'une unité terminale qui peut être placée à l'intérieur ou à l'extérieur d'une salle réverbérante et peut contenir un régulateur de débit (un registre à commande aérodynamique, électrique ou pneumatique) et une boîte de distribution avec robinets et clapets.
- c) L'essai d'écoulement est effectué pour déterminer la perte de pression totale de l'objet en essai et le niveau de puissance acoustique du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré).
- d) L'essai dynamique avec écoulement d'air est effectué pour déterminer la perte d'insertion d'un silencieux complet ou d'une série de baffles lorsque l'effet de l'écoulement d'air sur le résultat d'essai est non négligeable (par exemple pour certains types de silencieux réactifs et pour des vitesses d'écoulement élevées).

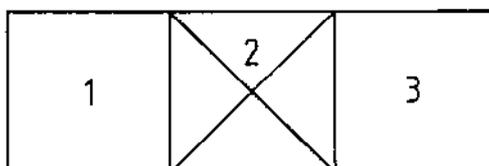
L'essai acoustique (par rapport à l'essai dynamique) permet un raccordement plus aisé de la source sonore à l'objet en essai et ne nécessite pas des niveaux de puissance acoustique élevés pour compenser le niveau du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré). La nécessité d'un flux entrant silencieux est à l'origine des exigences principales relatives à l'essai d'écoulement.

### 5.2 Equipement pour l'essai acoustique des silencieux

#### 5.2.1 Équipement

L'installation d'essai acoustique se compose des éléments suivants (voir Figure 2):

- la source sonore (voir 5.2.2);
- l'objet en essai; et
- l'équipement côté réception (voir 5.2.4).



#### Légende

- 1 source sonore
- 2 objet en essai
- 3 équipement côté réception

Figure 2 — Installation d'essai acoustique (schématique)

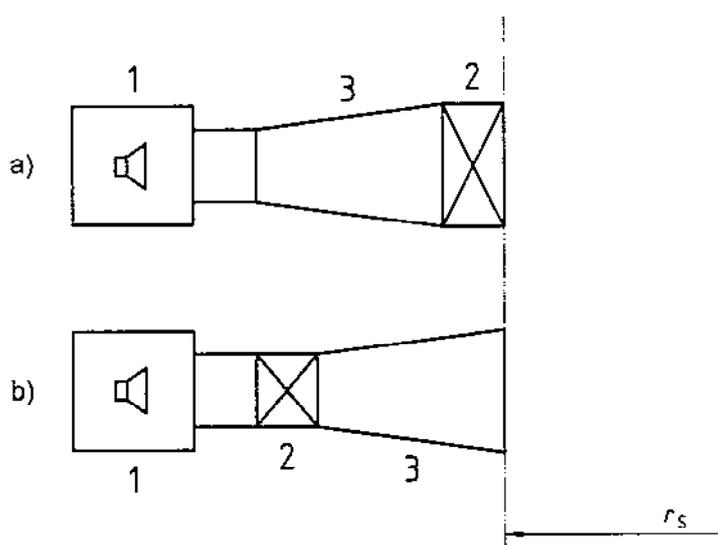
## 5.2.2 Source sonore

### 5.2.2.1 Composants

La source sonore doit exciter un champ acoustique en mode d'onde plane dominant à l'avant de l'objet en essai et doit être constituée des éléments suivants (voir Figure 3):

- un équipement électronique et une enceinte acoustique (voir 5.2.2.2);
- un filtre modal (voir 5.2.2.3); et
- une pièce de raccordement entre le haut-parleur et l'objet en essai (voir 5.2.2.4).

Les résonances dans le conduit à l'avant de l'objet en essai doivent être évitées (voir 5.2.2.5).



#### Légende

- 1 enceinte acoustique
- 2 filtre modal
- 3 pièce de raccordement

$r_s$  est le coefficient de réflexion se rapportant à ce plan

Figure 3 — Exemples de configurations de source sonore (schématique)

### 5.2.2.2 Équipement électronique et enceinte acoustique

Un générateur de bruit aléatoire et un amplificateur doivent commander un ou plusieurs haut-parleurs dans une enceinte close (voir Figure A.1). Les résonances de l'enceinte doivent être supprimées au moyen d'un revêtement absorbant. Il faut veiller à ce que l'enceinte acoustique ne transmette pas de bruit solidien indésirable au conduit connecté et à ce que la transmission de son aérien à travers les parois de l'enceinte soit suffisamment faible.

Pour éviter que l'enceinte acoustique subisse des dommages durant les essais d'écoulement, des orifices de compensation de pression doivent être prévus.

Ce système doit émettre une puissance acoustique suffisante pour que, dans le domaine de fréquences représentatif et en tout point de mesurage, le niveau de pression acoustique soit au moins supérieur de 6 dB, et de préférence de 10 dB, au niveau du bruit de fond.

### 5.2.2.3 Filtre modal

Le filtre modal est un conduit doté d'éléments absorbants ou réactifs qui fournit une faible atténuation du mode fondamental et une atténuation substantielle des modes d'ordre supérieur de la propagation acoustique axiale. En outre, le filtre modal est utilisé pour découpler la source sonore et l'objet en essai/le conduit de substitution. À cette fin, il doit fournir une atténuation longitudinale minimum du mode fondamental de 3 dB à l'extrémité basse fréquence et de 5 dB au-dessus de la fréquence de coupure des modes d'ordre supérieur dans les conduits connectés.

NOTE 1 Un silencieux court analogue à l'objet en essai peut, par exemple, être utilisé comme filtre modal.

NOTE 2 Dans un conduit de section circulaire, la fréquence de coupure pour le premier mode d'ordre supérieur est

$$f_{Cd} = \frac{0,59c}{d} \quad (4)$$

où

$c$  est la vitesse du son;

$d$  est le diamètre du conduit.

Dans un conduit rectangulaire dont la plus grande dimension est  $H$ ,

$$f_{CH} = \frac{0,5c}{H} \quad (5)$$

Les essais permettant de déterminer l'atténuation longitudinale sont spécifiés à l'Annexe F.

### 5.2.2.4 Pièce de raccordement

#### 5.2.2.4.1 Généralités

La pièce de raccordement doit être rigide afin d'éviter l'apparition de bruit transmis à travers les parois du conduit. Elle peut être positionnée entre le haut-parleur et le filtre modal ou entre le filtre modal et l'objet en essai (voir Figure 3).

Afin de supprimer les modes d'ordre supérieur générés au niveau du raccordement, il convient de placer la pièce entre le haut-parleur et le filtre modal [voir Figure 3 a)]. Toutefois, il faut noter que la performance d'un filtre modal peut être limitée, en toute position, à cause de la recombinaison d'ondes partielles à son extrémité.

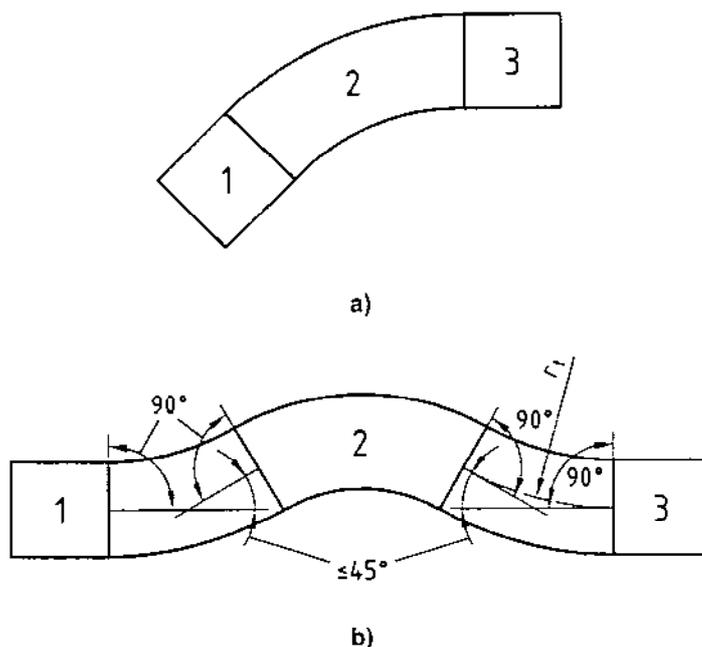
#### 5.2.2.4.2 Objets en essai rectilignes

Outre les exigences définies au 5.2.2.4.1, pour les silencieux rectilignes, la pièce de raccordement doit être rectiligne et coaxiale.

#### 5.2.2.4.3 Objets en essai coudés

Il est généralement préférable d'utiliser des pièces de raccordement rectilignes, telles que spécifiées en 5.2.2.4.2. Dans le cas d'objets en essai coudés, la source sonore devant l'objet en essai doit faire l'objet d'une rotation, selon l'angle défini entre les axes d'entrée et de sortie de l'objet en essai [voir Figure 4 a)].

Si cette rotation n'est pas effectuée, deux pièces de raccordement coudées chacune selon un angle de 45° maximum (coudes) sont permises. Le rayon de giration  $r_1$  ne doit pas être inférieur à la dimension de la section du conduit [voir Figure 4 b)].



#### Légende

- 1 source sonore
- 2 objet en essai
- 3 équipement côté réception

Figure 4 — Installations d'essai pour objets d'essai coudés (schématique)

#### 5.2.2.5 Exigences de performance globales au-dessous de la fréquence de coupure des modes d'ordre supérieur

Le coefficient de réflexion,  $r_S$ , de la source sonore ne doit pas dépasser une valeur  $r_S = 0,3$  par rapport à la position de l'objet en essai (voir Figure 3) lorsque le haut-parleur est éteint. Cette qualification est vérifiée en mesurant le rapport d'onde stationnaire des sons purs dans un conduit de mesurage remplaçant l'objet en essai, excité côté opposé à des fréquences inférieures à la fréquence de coupure des modes d'ordre supérieur dans le conduit de mesurage [voir B.2 et Équations (4) et (5)].

La source sonore est qualifiée pour les bandes de tiers d'octave pour lesquelles les exigences relatives à l'atténuation longitudinale du filtre modal sont respectées et le maxima des ondes stationnaires dépasse en niveau le minima de moins de 5 dB, dans les fréquences médianes du domaine de fréquences représentatif au-dessous de la fréquence de coupure des modes d'ordre supérieur.

#### 5.2.3 Conduit de substitution

Les parois du conduit de substitution doivent être non absorbantes et conçues pour éviter l'apparition de bruit aérien et la transmission de bruit solide (voir Annexe C).

La géométrie du conduit de substitution doit être indiquée dans le rapport d'essai.

Dans le cas d'un silencieux complet prêt à être installé, utilisez, si possible et si les exigences sont respectées, le boîtier vide de l'objet en essai en tant que conduit de substitution. S'il n'est pas possible d'utiliser le boîtier vide de l'objet en essai, le conduit de substitution doit correspondre en taille et en forme à son entrée et sa sortie. Des différences de moins de 5 % dans les dimensions linéaires sont admises.

Les parois du conduit de substitution pour un objet en essai rectiligne doivent être rectilignes et lisses.

Si les plans de raccord de l'objet en essai ne sont pas parallèles (comme dans un silencieux coudé), la section du conduit de substitution doit être

- a) le boîtier vide de l'objet en essai, si possible et si les exigences sont respectées,
- b) un conduit légèrement incurvé avec un rayon de courbure aussi important que possible, dans le cas d'un objet en essai légèrement incurvé, ou
- c) une section de conduit coudé similaire en géométrie à celle de l'objet en essai, dans le cas d'un silencieux coudé.

## 5.2.4 Équipement côté réception

### 5.2.4.1 Objectifs, options de configuration et appareillage

L'équipement côté réception doit permettre des mesurages de la pression acoustique pour déterminer la perte d'insertion de l'objet en essai. Dans ce but, il faut éviter les interférences prononcées aux positions de microphone et la transmission latérale du son. Trois options de configuration sont possibles (voir Figure 5):

- a) une salle réverbérante et un élément de transmission raccordant l'objet en essai à cette dernière (voir 5.2.4.2);
- b) un conduit de mesurage avec une terminaison anéchoïque (voir 5.2.4.3);
- c) des conditions approchant celles du champ libre, à proximité de l'extrémité ouverte de l'objet en essai/du conduit de substitution (voir 5.2.4.4).

En outre, tout environnement conforme à l'ISO 9614-3 est autorisé lors des mesurages de l'intensité acoustique (voir 5.2.4.5).

Pour les objets en essai coudés, les exigences du paragraphe 5.2.2.4.3 s'appliquent.

### 5.2.4.2 Salle réverbérante et élément de transmission

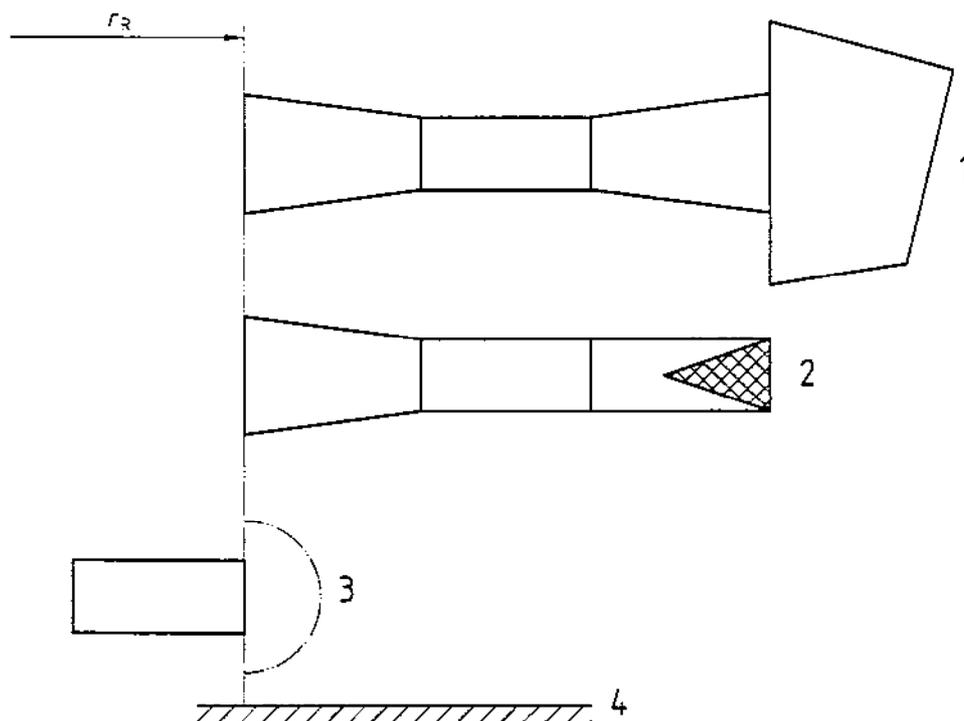
Le mesurage dans une salle réverbérante conforme aux exigences de l'ISO 3741 représente la méthode privilégiée d'essai acoustique. La salle doit être qualifiée au moins jusqu'à la bande de tiers d'octave centrée sur 125 Hz. Les volumes de salle supérieurs à 300 m<sup>3</sup> sont permis. Pour les besoins de la présente Norme internationale, il est possible d'étendre les mesurages effectués conformément à l'ISO 3741 à la bande de tiers d'octave centrée sur 50 Hz.

L'élément de transmission qui raccorde le côté réception de l'objet en essai/du conduit de substitution à la salle réverbérante peut présenter une section constante ou être équipé d'éléments coniques à l'une ou l'autre extrémité. En ce qui concerne l'essai de silencieux réactifs, le conduit doit être équipé d'un silencieux absorbant qui fournit une perte d'insertion de 3 dB au moins dans le domaine de fréquences au-dessous de la fréquence de coupure des modes d'ordre supérieur [voir Équations (4) et (5)].

**NOTE** Les réflexions qui apparaissent à l'extrémité ouverte du conduit, de façon similaire à la fois avec et sans l'objet en essai, n'affectent pas les mesurages de la perte d'insertion dans la salle réverbérante. Les réflexions au niveau de l'objet en essai sont réduites pour les silencieux absorbants. Les réflexions à l'extrémité ouverte du conduit de substitution sont réduites lorsque l'exigence relative au coefficient de réflexion,  $r_3 < 0,3$ , est respectée (voir 5.2.2.5). Il est possible que des problèmes apparaissent avec les silencieux réactifs à cause de réflexions multiples aux deux extrémités d'un conduit à section constante. Ces problèmes disparaissent lors d'une atténuation effective dans le conduit.

### 5.2.4.3 Conduit de mesurage avec terminaison anéchoïque

Lorsqu'une salle réverbérante n'est pas disponible, les mesurages effectués à l'intérieur d'un conduit de mesurage côté réception sont privilégiés.



#### Légende

- 1 salle réverbérante
- 2 conduit de mesure comportant un cône absorbant
- 3 conditions approchant celles du champ libre
- 4 plancher

$r_R$  est le coefficient de réflexion se rapportant à ce plan

**Figure 5 — Exemples de configuration côté réception (schématique)**

Le conduit de mesure peut être relié à l'objet en essai/au conduit de substitution directement ou via une pièce de raccordement conique (voir Figure 5). Le conduit de mesure doit présenter des parois rigides et une terminaison anéchoïque. Le conduit de mesure doit être rectiligne et de section rectangulaire ou circulaire. Sa longueur doit être au moins égale à la moitié de la longueur d'onde de la fréquence médiane de tiers d'octave la plus basse du domaine de fréquences représentatif et ne doit pas être inférieure à quatre fois la dimension transversale maximale du conduit. L'Annexe G décrit des exemples de conception adéquats pour la terminaison anéchoïque.

Le coefficient de réflexion,  $r_R$ , du système complet côté réception — y compris, le cas échéant, une pièce de raccordement — ne doit pas dépasser la valeur  $r_R = 0,3$ . Le système doit être qualifié en mesurant le rapport d'onde stationnaire pour les sons purs dans le conduit de substitution et dans le conduit de mesure à des fréquences au-dessous de la fréquence de coupure des modes d'ordre supérieur [voir B.2 et Équations (4) et (5)].

Le système est qualifié pour les bandes de tiers d'octave dans lesquelles les maxima des ondes stationnaires dépassent en niveau les minima de moins de 5 dB aux fréquences médianes.

L'obstruction engendrée par le microphone et son montage ne doit pas dépasser 5 % de la section du conduit de mesure. Un dispositif doit être prévu pour déplacer le microphone, progressivement ou de façon continue, le long d'une ligne droite inclinée par rapport à l'axe du conduit et s'étendant sur au moins un quart de la longueur d'onde correspondant à la fréquence médiane de la bande de tiers d'octave la plus basse dans le domaine de fréquences représentatif (voir Figure 8).

#### 5.2.4.4 Conditions approchant celles du champ libre

Ces conditions, aux positions de microphone, peuvent être supposées réunies lorsque le son direct issu de l'extrémité ouverte de l'objet en essai ou du conduit de substitution dépasse le niveau de la réflexion la plus forte, issue d'une surface avoisinante, de 10 dB au moins pour chaque bande de fréquence du domaine de fréquences représentatif. Cette exigence est respectée lorsque la distance entre l'extrémité ouverte et la surface réfléchissante représente plus du double de la distance entre l'extrémité ouverte et le microphone.

Les mesurages effectués dans des conditions approchant celles du champ libre impliquent que les parois de conduit de la source sonore présentent une isolation acoustique suffisante (ou perte de transmission). Cette exigence est respectée lorsque la perte limite d'insertion obtenue avec le conduit de substitution scellé, selon la description de C.2.2, est supérieure au moins de 10 dB à la perte d'insertion de l'objet en essai pour chaque bande de fréquence du domaine de fréquences représentatif.

Il est possible d'augmenter la perte limite d'insertion en montant des joints élastiques avant et après l'objet en essai, de revêtir les parois externes du conduit de matériaux présentant des pertes internes élevées, tels que des structures sandwich, ou d'utiliser des parois de conduit plus lourdes.

Les mesurages dans des conditions approchant celles du champ libre ne sont pas permis lorsque le bruit qui pénètre par les parois de l'objet en essai ou le bruit ambiant a un effet notable sur le niveau de pression acoustique aux positions de microphone. Cette condition est vérifiée en mesurant le niveau de pression acoustique avec et sans le conduit à l'arrière de l'objet en essai scellé, selon la description de C.2.2. Si la différence de niveau est inférieure à 10 dB dans toute bande de fréquence du domaine de fréquences représentatif, les mesurages en champ libre ne sont pas admis.

#### 5.2.4.5 Mesurages de l'intensité acoustique

Les mesurages de l'intensité acoustique peuvent être utiles à la distinction du son rayonné par l'extrémité ouverte de l'objet en essai ou du conduit connecté et du bruit, ou à la suppression du bruit transmis via des trajectoires latérales. Il est possible de réduire le niveau effectif de bruit de fond de 15 dB maximum.

La sélection des positions de mesurage doit s'effectuer conformément à l'ISO 9614-3.

#### 5.2.4.6 Appareillage

L'appareillage destiné aux mesurages acoustiques doit inclure au minimum les éléments suivants:

- a) un microphone;
- b) un filtre de tiers d'octave conforme à la CEI 61260;
- c) un sonomètre ou un indicateur d'intensité sonore.

L'appareillage, y compris les câbles, doit être conforme aux exigences relatives à un appareil de type 1 telles que spécifiées dans la CEI 60651:2001 ou, dans le cas de sonomètres intégrateurs-moyenneurs, aux exigences de la CEI 60804:2000.

L'équipement destiné aux mesurages de l'intensité acoustique doit être conforme à l'ISO 9614-3.

### 5.3 Equipement pour l'essai acoustique des unités terminales

#### 5.3.1 Source sonore

La source sonore destinée à l'essai doit respecter les spécifications de 5.2.2, excepté qu'aucun filtre modal n'est requis. Elle doit être montée à l'extérieur de la salle réverbérante et connectée au côté haute pression de l'objet en essai. Si l'objet en essai est monté à l'intérieur de la salle réverbérante, la partie du conduit reliant le côté haute pression de l'objet en essai à la source sonore (extérieur) doit être enveloppée d'un matériau acoustiquement isolant. Les robinets et clapets doivent être ouverts pendant l'essai.

### 5.3.2 Équipement côté réception

L'équipement côté réception inclut une salle réverbérante conforme aux exigences de l'ISO 3741 et, si l'objet en essai est monté à l'extérieur de la salle, un élément de transmission raccordant l'objet en essai à cette dernière. Il est permis d'adapter la forme de cet élément aux ouvertures disponibles sur les parois de la salle réverbérante pour autant que sa section demeure inchangée. Le prolongement de cet élément dans la salle réverbérante doit être consigné selon la description de l'ISO 5135.

Pour l'appareillage, voir 5.2.4.6.

Si l'objet en essai ne peut être relié à l'élément de transmission qu'à l'extérieur de la salle réverbérante, un élément de transmission secondaire (avec les mêmes dimensions de section et/ou la même aire de section droite que la sortie de l'objet en essai) doit être raccordé en se prolongeant dans la salle réverbérante.

## 5.4 Équipement pour l'essai d'écoulement

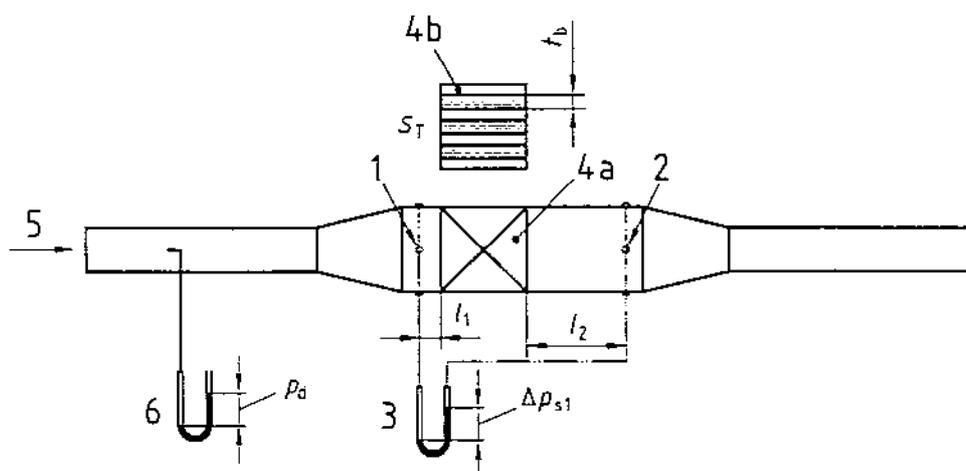
### 5.4.1 Équipement

#### 5.4.1.1 Perte de pression totale

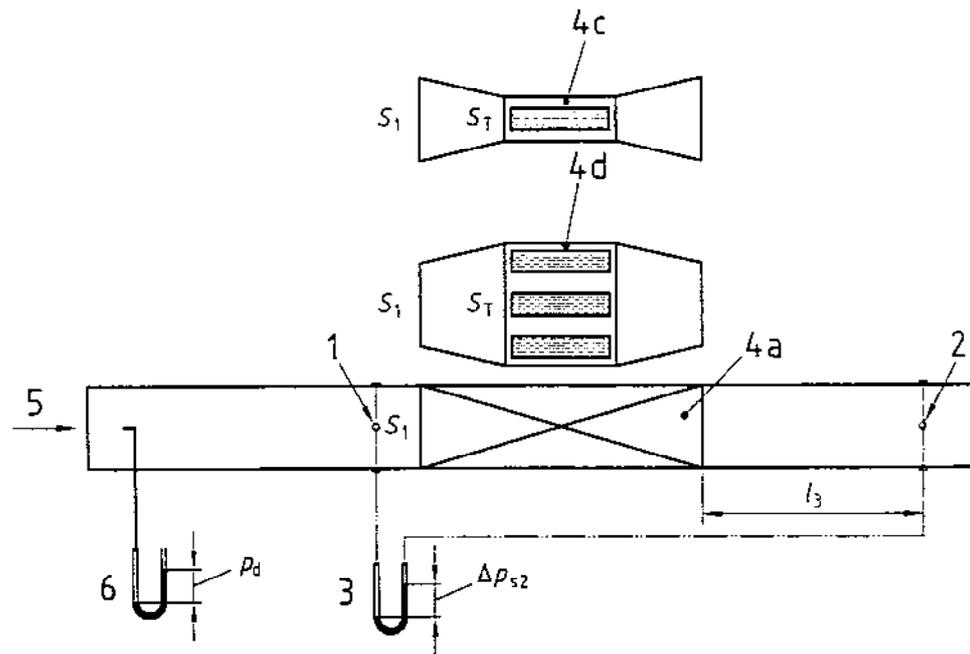
NOTE Les mesurages du débit et de la perte de pression des unités terminales sont spécifiés dans l'EN 12238, l'EN 12239 et l'EN 12589.

L'installation d'essai pour le mesurage de la perte de pression totale inclut les éléments suivants (voir Figure 6):

- un ventilateur permettant de produire un écoulement d'air, sans turbulence notable, à différents débits (voir 5.4.2.1);
- un dispositif de mesurage du débit (voir 5.4.2.2);
- l'objet en essai/le conduit de substitution (voir 5.2.3);
- des conduits de mesurage avec des pièces de raccordement aérodynamiques, si nécessaire, d'un côté ou de l'autre de l'objet en essai (voir 5.4.2.3);
- un dispositif permettant de mesurer la différence de pression statique moyenne en amont et en aval de l'objet en essai (voir 5.4.2.4).



a) Silencieux sans pièces de raccordement intégrées



b) Silencieux avec pièces de raccordement intégrées

## Légende

1	mesurage de la pression statique en amont	$t_b$	épaisseur de baffle
2	mesurage de la pression statique en aval (dans la salle réverbérante ou dans le conduit de mesurage en utilisant quatre prises de pression statique connectées par un anneau piézométrique)	$l_1$	distance entre la prise de pression amont et l'objet en essai, $l_1 > 0,5 t_b$
3	manomètre	$l_2$	distance entre la prise de pression aval et l'objet en essai, $l_2 > 6 t_b$
4a	conduit de substitution	$l_3$	distance entre la prise de pression aval et l'objet en essai dans le cas d'un objet avec diffuseur, $l_3 \geq 8 (\sqrt{S_1} - \sqrt{S_T})$
4b	silencieux à baffles parallèles	$S_1$	section du conduit de mesurage
4c	objet en essai avec diffuseur intégré	$S_T$	section de l'objet en essai
4d	objet en essai avec dispositif de confusion intégré	$\Delta p_{s1}$	différence de pression statique dans le cas d'un conduit de mesurage avec pièces de raccordement
5	direction de l'écoulement	$\Delta p_{s2}$	différence de pression statique dans le cas d'un objet en essai avec pièces de raccordement
6	mesurage du débit	$p_d$	pression dynamique

Figure 6 — Installations d'essai types pour débit et perte de pression

## 5.4.1.2 Bruit d'écoulement (ou bruit régénéré)

L'installation d'essai destinée aux mesurages du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) se compose des éléments suivants:

- un ventilateur à silencieux pour produire un écoulement d'air modéré à différents débits (voir 5.4.2.1);
- un dispositif de mesurage du débit (voir 5.4.2.2);
- l'objet en essai/le conduit de substitution (voir 5.2.3);
- des pièces de raccordement aérodynamiques, si nécessaire, d'un côté ou de l'autre de l'objet en essai (voir 5.4.2.3);
- un élément de transmission (voir 5.4.2.6) et une salle réverbérante conforme aux exigences de l'ISO 3741.

Le bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) de l'objet en essai apparaît toujours en combinaison avec un bruit régénéré dans les conduits connectés, particulièrement côté réception. Pour supprimer ce dernier, la vitesse d'écoulement maximale dans l'objet en essai doit être supérieure à la vitesse d'écoulement dans le conduit relié à la salle réverbérante. Cette condition détermine le choix de la section et de la forme du conduit.

Il convient de noter que les turbulences tendent à augmenter le bruit d'écoulement.

#### 5.4.1.3 Paramètres supplémentaires

La pression ambiante doit être mesurée à l'aide d'un manomètre étalonné, avec une précision de 1 000 Pa (10 hPa).

La température ambiante doit être mesurée à l'aide d'un thermomètre étalonné, avec une précision de  $\pm 1$  K.

### 5.4.2 Composants

#### 5.4.2.1 Ventilateur et composants connectés

Il convient que le ventilateur présente, de préférence, des possibilités de réglage de la vitesse pour permettre des variations du débit. Une isolation antivibratoire doit être prévue entre le ventilateur et le conduit.

En ce qui concerne les mesurages du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré), le conduit raccordé doit être équipé d'un silencieux pour réduire le bruit du ventilateur dans la salle réverbérante de 10 dB au moins en dessous du niveau de bruit régénéré par l'objet en essai dans chaque bande de fréquence du domaine de fréquences représentatif.

Il peut s'avérer nécessaire d'utiliser un redresseur d'écoulement pour éviter toute turbulence notable en amont du dispositif de mesurage du débit et de l'objet en essai.

L'écoulement d'air ne doit atteindre aucun objet dans la limite de 1 m à partir de l'ouverture menant à la salle réverbérante.

#### 5.4.2.2 Dispositif de mesurage du débit

L'ISO 5221 présente plusieurs techniques de mesurage du débit dans une section de conduit hermétique, qui peut être circulaire ou (à l'exception des tubes de Pitot doubles) rectangulaire.

NOTE L'évaluation du débit-masse sera obtenue à partir des mesurages effectués avec le dispositif conforme à l'ISO 5221 de façon que la connaissance de la masse volumique de l'air en amont de l'objet en essai permette de calculer la vitesse volumique de l'air ou la vitesse moyenne d'écoulement à travers l'entrée de l'objet en essai.

Il convient que le dispositif de mesurage de débit ne perturbe pas les mesurages acoustiques.

Le mesurage de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes (par exemple diaphragmes, tubes de Venturi et tuyères) insérés dans des conduites en charge de section circulaire est décrit dans l'ISO 5167-1.

Le débit-masse,  $q_m$ , doit être mesuré à l'aide d'instruments conformes à l'ISO 5221 ou à l'ISO 5167-1.

Tous les débitmètres doivent présenter une précision minimum conforme au Tableau 3.

Tableau 3 — Erreur relative des débitmètres

Débit-volume, $q_V$ $m^3/s$	Erreur relative %
$0,07 < q_V \leq 7$	$\pm 2,5$
$0,007 < q_V \leq 0,07$	$\pm 5,0$

Les débitmètres peuvent être étalonnés au moyen de tubes de Pitot doubles décrit dans l'ISO 3966.

Les débitmètres doivent être étalonnés à des intervalles adéquats n'excédant pas 12 mois.

#### 5.4.2.3 Conduits de mesure et pièces de raccordement aérodynamiques

Les conduits de mesure d'un côté ou de l'autre de l'objet en essai doivent être rectilignes et de section constante et égale.

Les sections des conduits doivent de préférence être identiques aux sections de l'objet en essai. Si des pièces de raccordement sont nécessaires pour connecter des sections différentes de l'objet en essai et des conduits de mesure, elles doivent être conçues de façon aérodynamique:

- pour des éléments coniques avec un angle interne d'environ 10°;
- pour des pièces de raccordement arbitraires avec une longueur minimale  $l_{\min}$  qui dépend des aires de section droite  $S_1$  et  $S_2$  aux extrémités des pièces de raccordement, tel que spécifié à la Figure 7.

Ce rapport d'aire est limité entre 1 à 4 et 4 à 1 pour les deux extrémités des pièces de raccordement.

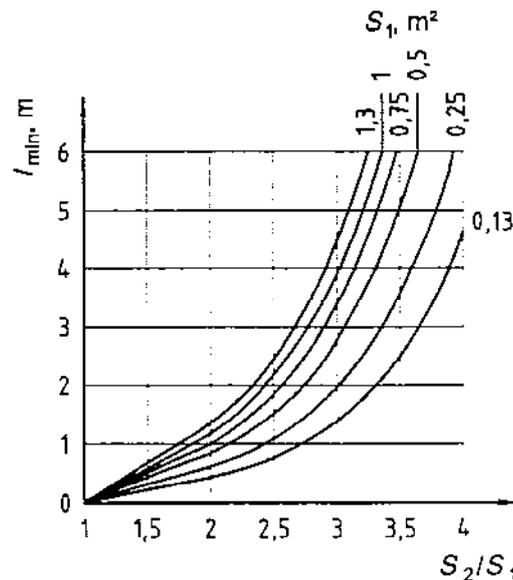
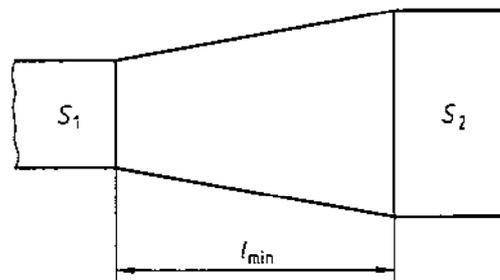


Figure 7 — Longueur minimum des pièces de raccordement, fonction du rapport des aires  $S_2/S_1$

#### 5.4.2.4 Perte de pression

La configuration et les dispositifs de mesure de la pression statique moyenne d'un côté ou de l'autre de l'objet en essai et de la perte de pression totale pour l'objet en essai doivent être conformes à la Figure 6.

#### 5.4.2.5 Mesurage de la pression

La pression dans le conduit doit être mesurée à l'aide d'un manomètre étalonné.

L'échelon maximal ne doit pas être supérieur aux caractéristiques énumérées pour la plage correspondante du Tableau 4.

Tableau 4 — Échelons maximaux pour la plage des manomètres

Plage de pressions $p$ Pa	Échelon maximal $\Delta p$ Pa
$p \leq 25$	1,0
$25 < p \leq 250$	2,5
$250 < p \leq 500$	5,0
$p > 500$	25

Pour le mesurage de l'écoulement d'air, la pression différentielle minimum doit être de

- 25 Pa avec un manomètre à tube incliné ou un micromanomètre, ou
- 500 Pa avec un manomètre à tube vertical.

Les étalons doivent être les suivants:

- pour les instruments avec une plage de 25 Pa maximum, un micromanomètre d'une précision de  $\pm 0,5$  Pa;
- pour les instruments avec une plage de 100 Pa maximum, un micromanomètre d'une précision de  $\pm 1,0$  Pa; ou
- pour les instruments avec une plage supérieure à 100 Pa, un micromanomètre d'une précision de  $\pm 1$  % en termes de lecture.

#### 5.4.2.6 Élément de transmission

L'élément de transmission qui raccorde l'objet en essai et la salle réverbérante doit être conçu pour limiter les résonances prononcées à l'arrière de l'objet en essai et ne doit pas présenter d'absorption significative dans le conduit.

Il suffit alors de déterminer le coefficient de réflexion à l'extrémité  $r$  selon la méthode de mesurage décrite en B.2 ou la méthode de calcul décrite en B.3, le cas échéant. Si les réflexions côté réception de l'objet en essai sont importantes, il convient que le coefficient de réflexion à l'extrémité,  $r$ , ne dépasse pas les valeurs maximales spécifiées dans le Tableau 5. Le coefficient de réflexion de l'objet en essai,  $r_T$ , est déterminé à partir des mesurages du rapport d'onde stationnaire dans un conduit de mesurage remplaçant l'élément de transmission, lorsque le conduit est excité côté extrémité ouverte à des fréquences inférieures à la fréquence de coupure des modes d'ordre supérieur [voir Équations (4) et (5)].

NOTE Les silencieux absorbants produisent généralement de faibles réflexions.

Si les réflexions côté réception de l'objet en essai sont faibles, étant donné qu'elles représentent un coefficient de réflexion,  $r_T < 0,3$ , de l'élément de transmission, elles peuvent être négligées.

Tableau 5 — Valeurs maximales du coefficient de réflexion d'un élément de transmission

Fréquence médiane de la bande de fréquence Hz	Valeur maximale du coefficient de réflexion <i>r</i>
50	0,7
63	0,6
80	0,5
100	0,4
125	0,3
> 160	0,2

NOTE Ces valeurs sont obtenues à l'aide d'un conduit de mesurage d'une section de 2 m<sup>2</sup> au moins (sans élément de transmission).

## 5.5 Équipement pour essai dynamique

### 5.5.1 Équipement

L'installation d'essai dynamique se compose des éléments suivants (voir Figure H.2):

- un ventilateur permettant de produire un écoulement d'air variable (voir 5.4.2.1);
- un dispositif de mesurage du débit (voir 5.4.2.2);
- une source sonore spéciale (voir 5.5.2);
- l'objet en essai/le conduit de substitution (voir 5.2.3);
- des pièces de raccordement aérodynamiques d'un côté ou de l'autre de l'objet en essai (voir 5.4.2.3); et
- un équipement spécial côté réception (voir 5.5.3).

### 5.5.2 Source sonore pour essai dynamique

Outre la nécessité de respecter les exigences énoncées en 5.2.2.1, la source sonore doit produire une puissance acoustique suffisante pour garantir que, dans le domaine de fréquences représentatif et en tout point de mesurage, le niveau de pression acoustique soit au moins supérieur de 10 dB au niveau du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré).

Le rapport signal/bruit peut être amélioré en utilisant un signal à bande limitée (octave ou tiers d'octave).

L'Annexe A donne des exemples de conception appropriée de l'enceinte acoustique ainsi qu'une procédure de qualification.

### 5.5.3 Équipement côté réception pour essai dynamique

Si les mesurages acoustiques sont effectués dans un conduit de mesurage avec une terminaison anéchoïque, le bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) de la terminaison anéchoïque ne doit pas influencer le mesurage. L'Annexe G et l'ISO 5136 décrivent des conceptions adéquates. Il peut être nécessaire de supprimer le signal microphonique induit par l'écoulement de l'air (c'est-à-dire généré par les fluctuations de pression turbulente) en utilisant des écrans antivent adéquats (par exemple, une ogive antivent, une boule de mousse ou une sonde microphonique) afin d'obtenir un rapport signal/bruit suffisant. La différence de niveau entre la pression acoustique générée par la source sonore et atténuée par l'objet en essai et le bruit d'écoulement (ou bruit

régénéré) engendré par l'écoulement turbulent sur le microphone doit être au moins de 10 dB dans chaque bande de fréquence du domaine de fréquences représentatif.

NOTE Si une sonde microphonique conforme à l'ISO 5136 est utilisée, la directivité de la sonde peut être source de problèmes.

Si les mesurages acoustiques sont effectués dans la salle réverbérante, l'élément de transmission doit être conçu pour fournir une différence de niveau de 10 dB au moins dans chaque bande de fréquence du domaine de fréquences représentatif entre, d'une part, la pression acoustique générée par la source sonore et atténuée par l'objet en essai et dans les éléments de transmission et, d'autre part, la pression acoustique régénérée par l'écoulement.

La différence de niveau entre le bruit du signal et le bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) peut être vérifiée en effectuant des mesurages avec la source sonore arrêtée et mise en marche.

## 6 Modes opératoires d'essai

### 6.1 Généralités

Les coefficients de réflexion des composants de l'installation d'essai sont déterminés à partir de mesurages avec des sons purs de 50 Hz, 63 Hz, etc. aux fréquences médianes des bandes de tiers d'octave jusqu'à la fréquence de coupure du premier mode croisé dans le conduit [voir B.2 et Équations (4) et (5)].

Les mesurages permettant de déterminer la perte d'insertion/de transmission des objets en essai sont effectués en bandes de tiers d'octave du bruit aléatoire excité par la source sonore, dans le domaine de fréquences représentatif. Le bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) est mesuré en bandes de tiers d'octave centrées sur 50 Hz à 10 kHz.

La perte limite d'insertion de l'installation d'essai est déterminée à partir de mesurages sans écoulement et avec un conduit de substitution. Les mesurages sont effectués avec et sans le conduit de substitution acoustiquement scellé selon la description de C.2.2.

La perte d'insertion et, si nécessaire, le bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) et la perte de pression totale de l'objet en essai doivent être déterminés pour la plage de vitesses d'écoulement correspondant aux exigences de mesurage.

Avant et après chaque série de mesurages acoustiques, un calibre acoustique de type 1, conforme à la CEI 60942:1997, avec une tolérance de  $\pm 0,3$  dB, doit être appliqué au microphone afin de vérifier l'étalonnage de l'ensemble du système de mesure à une ou plusieurs fréquences sur le domaine de fréquences représentatif.

### 6.2 Perte d'insertion

#### 6.2.1 Mesurage de la pression acoustique

La perte d'insertion,  $D_i$ , doit être déterminée à partir des niveaux de pression acoustique spatiaux moyens  $\overline{L_p}$  à des points ou sur des trajets identiques

- dans la salle réverbérante conforme à l'ISO 3741, ou
- dans le conduit de mesurage à l'arrière de l'objet en essai, ou
- sur une surface enveloppante à proximité de l'extrémité ouverte de l'objet en essai/du conduit de substitution conformément à l'ISO 3746.

NOTE Les différences de niveau de puissance acoustique étant évaluées à partir de mesurages effectués aux mêmes positions et les extrémités ouvertes de l'objet en essai et du conduit de substitution étant similaires en termes de forme et de position, la précision des mesurages est nettement supérieure à celle attendue conformément à l'ISO 3746.

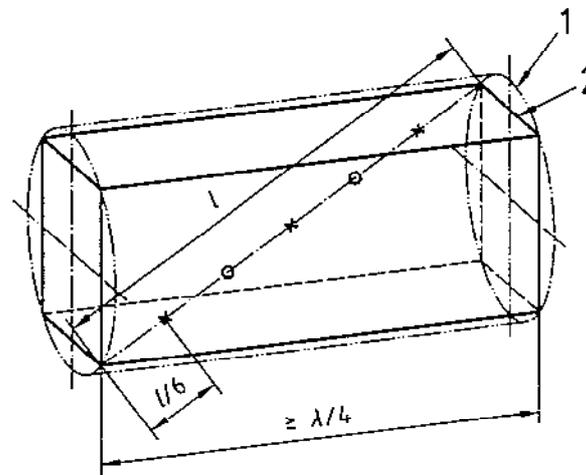
Dans la première série d'essais,  $\overline{L_{pI}}$  doit être déterminé lorsque l'objet en essai est installé.

Dans la seconde série d'essais,  $\overline{L_{pII}}$  doit être déterminé lorsque l'objet en essai est remplacé par le conduit de substitution.

Le signal sonore émis par la source sonore doit être le même pour les deux séries d'essais en ce qui concerne le spectre de puissance acoustique. L'installation d'essai et l'environnement d'essai ne doivent pas être modifiés.

Si l'on mesure les niveaux de pression acoustique locaux dans la salle réverbérante, les mesurages et le moyennage doivent être effectués conformément à l'ISO 3741.

Si l'on mesure les niveaux de pression acoustique locaux dans le conduit de mesure à l'arrière de l'objet en essai, la moyenne spatiale doit être déterminée à partir des niveaux de pression acoustique mesurés à, au moins, trois positions clés équidistantes, comme indiqué à la Figure 8. La projection horizontale de la ligne des positions de mesure doit avoir une longueur supérieure ou égale au quart de la longueur d'onde  $\lambda$  de la fréquence médiane du tiers d'octave considéré. Il convient d'effectuer le mesurage approximativement à mi-longueur du conduit de mesure. Le microphone est de préférence orienté le long de l'axe du conduit. Si la différence, en décibels, entre le niveau maximal et le niveau minimal, relevés aux trois positions de mesure, est supérieure aux valeurs données dans le Tableau 6, il faut utiliser cinq positions de mesure. On peut également obtenir la valeur moyenne spatiale en effectuant un mesurage en continu.



#### Légende

- 1 section circulaire
- 2 section rectangulaire
- x position clé de microphone
- o position supplémentaire de microphone

Figure 8 — Positions de microphone

Tableau 6 — Différences maximales de niveau pour trois positions de microphone dans le conduit de mesurage

Fréquence Hz	Différence maximale de niveau dB
50	10
63	10
80	8
100	8
125	7
> 160	6

### 6.2.2 Mesurages de l'intensité acoustique

Sans écoulement, la perte d'insertion,  $D_i$ , doit être déterminée à partir des mesurages de l'intensité acoustique sur des trajectoires identiques, sur une surface enveloppante à proximité de l'extrémité ouverte de l'objet en essai/du conduit de substitution, conformément à l'ISO 9614-3, lorsque l'objet en essai est installé, et dans la série suivante, lorsque l'objet en essai est remplacé par le conduit de substitution. La perte d'insertion,  $D_i$ , est alors calculée à partir des intensités moyennes.

### 6.3 Perte de transmission

La perte de transmission,  $D_t$ , de l'objet en essai (unité terminale) doit être déterminée à partir des niveaux de pression acoustique spatiaux moyens,  $\overline{L_{p1}}$  et  $\overline{L_{p2}}$ , dans la salle réverbérante conformément à l'ISO 3741 (voir 5.3) et à partir des valeurs théoriques de la perte de transmission de l'extrémité ouverte de l'objet en essai,  $D_{td}$ , à l'aide de l'Équation (6) (voir référence [22]). Dans un premier temps, le son rayonné dans le conduit de substitution doit être mesuré sans l'objet en essai ( $\overline{L_{p1}}$ ). Si nécessaire, des mesurages de la durée de réverbération,  $T_1$ , sont effectués. Ensuite, l'objet en essai doit être relié à l'élément de transmission menant dans la salle réverbérante et le son atténué par l'objet en essai doit être mesuré ( $\overline{L_{p2}}$ ). Si l'objet en essai est monté à l'intérieur de la salle, la durée de réverbération,  $T_2$ , doit être déterminée. Sinon, on peut supposer que  $T_2 = T_1$ .

$$D_t = D_i + D_{td} \quad (6)$$

où

$$D_i = \overline{L_{p1}} - \overline{L_{p2}} + 10 \lg \frac{T_2}{T_1} \text{ dB};$$

$D_{td}$  tel que défini en B.3.

Le réglage du régulateur de débit doit être consigné.

### 6.4 Niveau de puissance acoustique du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré)

Le niveau de puissance acoustique du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) doit être déterminé pour la direction d'écoulement et la vitesse frontale correspondant à l'utilisation prévue de l'objet en essai.

Il est préférable de déterminer le niveau de puissance acoustique conformément à l'ISO 3741, dans une salle réverbérante, raccordée au conduit de mesurage à l'arrière de l'objet en essai. Si l'on ne dispose pas de salle réverbérante, il convient d'utiliser la méthode en conduit donnée dans l'ISO 5136.

Deux séries de mesurages doivent être effectuées. Dans la première série, le niveau de bruit de fond doit être déterminé avec le conduit de substitution à la place de l'objet en essai. Dans la seconde série, on doit mesurer le niveau de pression acoustique du bruit d'écoulement de l'objet en essai. Toutes les autres conditions d'essai (condition d'écoulement, position microphonique, dimensions des conduits, etc.) doivent rester constantes pendant les deux séries.

Le niveau de puissance acoustique du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) de l'objet en essai,  $L_{B^*}$ , est calculé en bandes de tiers d'octave à partir de l'équation suivante:

$$L_{B^*} = \overline{L}_p + D_{td} + C \quad (7)$$

où

$\overline{L}_p$  est le niveau de pression acoustique spatial moyen par bande de tiers d'octave, déterminé conformément à l'ISO 3741, sans correction de bruit de fond;

$D_{td}$  est la perte de transmission à l'extrémité ouverte du conduit relié à la salle réverbérante;

$C$  est la différence de niveau entre la puissance acoustique rayonnée dans la salle réverbérante et la pression acoustique moyenne dans la salle réverbérante, déterminée selon la méthode directe ou indirecte spécifiée dans l'ISO 3741.

Pour les conduits de section constante, les données relatives à la perte de transmission,  $D_{td}$ , sont obtenues à partir de l'Équation (B.3).

Les niveaux de puissance acoustique du bruit d'écoulement, déterminés pour l'objet en essai et pour le conduit de substitution, doivent être consignés dans le rapport sans correction de bruit de fond.

## 6.5 Débit-volume et coefficient de perte de pression

### 6.5.1 Débit-volume d'entrée

Le débit-volume,  $q_V$ , à l'entrée de l'objet en essai, doit être calculé à partir de l'équation suivante:

$$q_V = \frac{q_m}{\rho_1} \quad (8)$$

où

$q_m$  est le débit-masse, en kilogrammes par seconde;

$\rho_1$  est la masse volumique de l'air en amont de l'objet en essai, en kilogrammes par mètre cube.

### 6.5.2 Coefficient moyen de perte de pression totale

#### 6.5.2.1 Méthode simplifiée

Pour déterminer le coefficient de perte de pression, cinq débits d'air ( $q_{Vi}$ ) différents doivent être mesurés. Le débit le plus faible doit produire une différence de pression supérieure à 10 Pa.

Si des différences significatives en termes de température de l'air et de pression statique apparaissent entre le débitmètre et l'objet en essai et impliquent que le rapport  $\frac{\rho_1}{\rho_2}$  est inférieur à 0,98 ou supérieur à 1,02, la correction suivante doit être appliquée:

$$q_V = \frac{q_m}{\rho_{1n}} \quad (9)$$

où

$$\rho_{1n} = \frac{1}{R} \frac{p_{s1} + p_a}{\theta_1 + 273 \text{ } ^\circ\text{C}} \quad (10)$$

et

$$R = 287 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

La pression totale ( $p_{\text{tot}}$ ) dans le plan de mesure est égale à la somme de la pression statique mesurée ( $p_s$ ) et de la pression dynamique ( $p_d$ ), selon la formule suivante:

$$p_t = p_s + \frac{\rho}{2} \left( \frac{q_v}{S} \right)^2 \quad (11)$$

La perte de pression totale est

$$\begin{aligned} \Delta p_t &= p_{t1} - p_{t2} = (p_{s1} + p_{d1}) - (p_{s2} + p_{d2}) \\ &= \Delta p_s + \Delta p_d \\ &= \Delta p_s + p_{d1} \left[ 1 - \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (12)$$

où

$$p_{d1} = \frac{\rho}{2} \left( \frac{q_v}{S_1} \right)^2 \quad (13)$$

$S_1$  est l'aire de la section droite de l'entrée du conduit de mesure;

$S_2$  est l'aire de la section droite de la sortie du conduit de mesure.

Le coefficient de perte de pression totale est

$$\begin{aligned} \zeta &= \frac{\Delta p_t}{p_{d1}} \\ &= \frac{\Delta p_s}{p_{d1}} + 1 - \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^2 \end{aligned} \quad (14)$$

NOTE En règle générale,  $S_1 = S_2$ .

Le coefficient moyen de perte de pression totale doit être calculé comme la moyenne linéaire de tous les mesurages.

### 6.5.2.2 Méthode fondamentale

#### 6.5.2.2.1 Méthodes et exigences

Déterminer le coefficient moyen de perte de pression totale de l'objet en essai à l'aide d'une méthode par substitution. Effectuer deux séries d'essais:

- l'une avec l'objet en essai; et
- l'autre en remplaçant l'objet en essai par le conduit de substitution.

Chaque série d'essais doit être effectuée avec un minimum de cinq débits d'air uniformément répartis sur toute la plage d'essai des débits d'air.

Le conduit de mesurage amont doit être rectiligne sur une longueur minimale égale à la plus grande des deux valeurs:  $5d_e$  ou 2 m, où  $d_e$  est le diamètre équivalent.  $d_e = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$  où  $S$  est l'aire de la section droite du conduit.

L'écoulement dans le conduit amont ne doit pas présenter de turbulence notable (voir 5.4.2.1).

Le profil des vitesses à proximité du raccord amont de l'objet en essai doit être uniforme à  $\pm 10\%$  de la valeur moyenne, sur la section droite du conduit, la surface située à moins de 15 mm des parois étant exclue. Un contrôle des vitesses doit être effectué sur deux axes perpendiculaires, à dix emplacements équidistants, à une distance d'environ  $1,5d_e$  de l'objet en essai afin de s'assurer que le profil des vitesses répond à ces exigences.

La pression statique dans le conduit amont,  $p_{s1}$ , doit être mesurée au moyen de quatre prises de pression statique à  $1,5d_e$  du raccord amont de l'objet en essai. Ces prises de pression doivent être positionnées au milieu de chaque côté, dans le cas d'un conduit rectangulaire, et espacées régulièrement autour de la circonférence, dans le cas d'un conduit circulaire. Les prises de pression doivent être reliées pour constituer un anneau piézométrique. La pression statique amont,  $p_{s1}$ , doit être mesurée par rapport à une pression en aval de l'objet en essai ou du conduit de substitution, respectivement, soit dans le conduit de mesurage aval, soit dans la salle réverbérante connectée.

Pour déterminer la masse volumique du fluide, il faut également mesurer la pression statique en amont du conduit,  $p_{s1(a)}$ , par rapport à la pression ambiante,  $p_a$ , lorsque l'objet en essai est installé.

La température de l'air doit être mesurée au débitmètre et à une distance de  $2d_e$  en amont de l'objet en essai. Pendant l'essai, la variation de température ne doit pas excéder 3 K.

Les données suivantes doivent être consignées:

- la pression statique du conduit amont avec l'objet en essai,  $p_{s1(I)}$ , en pascals, mesurée par rapport à la pression aval;
- la pression statique du conduit amont,  $p_{s1(a)}$ , en pascals, mesurée par rapport à la pression ambiante;
- la pression statique du conduit amont avec le conduit de substitution,  $p_{s1(II)}$ , en pascals, mesurée par rapport à la pression aval;
- la pression ambiante,  $p_a$ , en pascals;
- la température de l'air à l'entrée de l'objet en essai,  $\theta_1$ , en degrés Celsius.

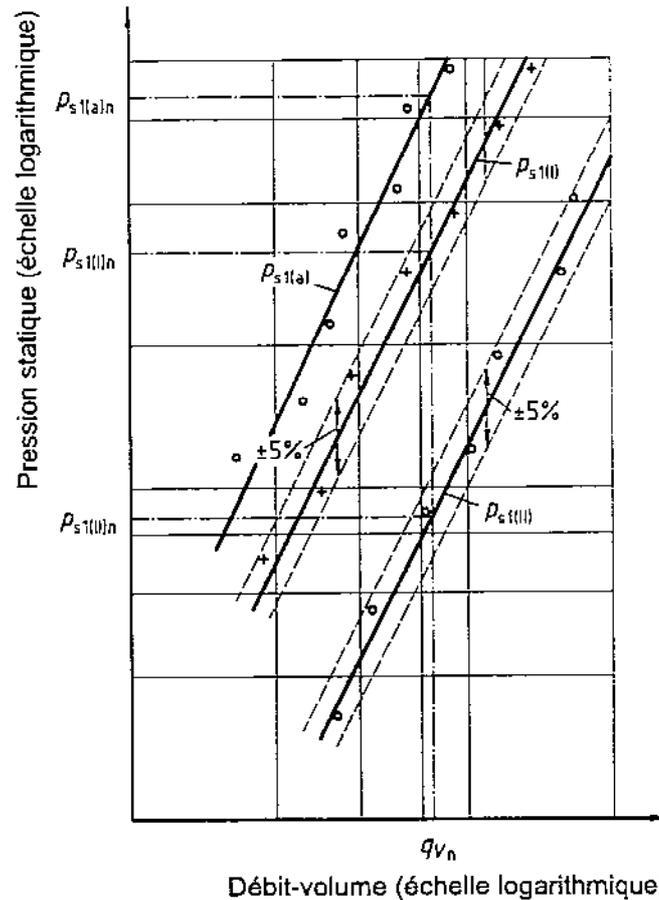
Pour chaque essai, le débit-volume,  $q_V$ , conforme à l'ISO 5221 ou à l'ISO 5167-1, doit être déterminé selon les spécifications de 6.5.1.

#### 6.5.2.2.2 Méthode graphique pour déterminer le coefficient moyen de perte de pression totale

Les graphiques suivants doivent être tracés sur du papier millimétrique:

- $\lg p_{s1(I)}$  en fonction de  $\lg q_V$ ;
- $\lg p_{s1(II)}$  en fonction de  $\lg q_V$ ;
- $\lg p_{s1(a)}$  en fonction de  $\lg q_V$ .

On doit alors tracer les droites de régression de pente égale à 2 pour les séries de points expérimentaux correspondant aux valeurs de  $\lg p_{s1}$  situées dans un intervalle de  $\pm 5\%$  autour des droites de régression. Voir Figure 9.



**Figure 9 — Spécification de la relation débit/pression**  
(Pressions statiques et débits correspondants dans le plan n° 1)

Choisir une valeur  $q_{Vn}$  de débit dans le milieu du domaine exploré. Calculer la valeur prescrite de pression effective totale,  $\Delta p_{tot,n}$ , de l'objet en essai à partir de l'équation suivante:

$$\Delta p_{tot,n} = \Delta p_{sn} = p_{s1(I)n} - p_{s1(II)n} \quad (15)$$

Calculer la pression cinétique (ou frontale) à l'entrée,  $p_{dn}$ , à partir de l'équation suivante:

$$p_{dn} = \frac{1}{2} \rho_{1n} \left( \frac{q_{Vn}}{S_1} \right)^2 \quad (16)$$

où

$\rho_{1n}$  est donné par l'Équation (10);

$S_1$  est l'aire de la section circulaire du conduit amont, en mètres carrés.

Calculer le coefficient de perte de pression totale,  $\zeta$ , moyenné dans la plage des vitesses d'écoulement, à partir de l'équation suivante:

$$\zeta = \frac{\Delta p_{tot,n}}{p_{dn}} \quad (17)$$

Toutes les pertes de pression totale évaluées à partir des résultats d'essai doivent être calculées en utilisant le coefficient moyen de perte de pression totale.

### 6.5.2.2.3 Méthode de calcul du coefficient moyen de perte de pression totale

La formule suivante peut être utilisée:

$$\zeta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{p_{s1(i)i}}{p_{di}} - \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \frac{p_{s1(i)k}}{p_{dk}} \quad (18)$$

où

$N, M$  sont le nombre de mesurages, respectivement avec l'objet en essai installé et avec le conduit de substitution installé;

$$p_{di} = \frac{1}{2} \rho_{1i} \left( \frac{q_{1i}}{S_1} \right)^2 \quad (19)$$

$$p_{dk} = \frac{1}{2} \rho_{1k} \left( \frac{q_{1k}}{S_1} \right)^2 \quad (20)$$

avec

$$\rho_{1i} = \frac{p_{s1(a)i} + p_a}{R(\theta_{1i} + 273 \text{ °C})} \quad (21)$$

$$\rho_{1k} = \frac{p_{s1(a)k} + p_a}{R(\theta_{1k} + 273 \text{ °C})} \quad (22)$$

## 7 Informations à consigner

### 7.1 Description de l'objet en essai

Les informations suivantes doivent, le cas échéant, être consignées:

- type de l'objet en essai et son application;
- dimensions;
- direction de l'écoulement.

### 7.2 Appareillage

Tous les instruments de mesure utilisés, y compris le type, le numéro de série et la date de contrôle de conformité aux normes applicables, doivent être consignés.

### 7.3 Source sonore

Les informations suivantes doivent, le cas échéant, être consignées:

- type et dimensions de l'enceinte acoustique;

- b) couplage de l'enceinte acoustique au conduit à l'avant de l'objet en essai;
- c) atténuation longitudinale du filtre modal;
- d) coefficient de réflexion de la source sonore.

#### 7.4 Conduits de mesurage, de substitution et éléments de transmission

Les informations suivantes doivent, le cas échéant, être consignées:

- a) épaisseur de paroi, longueur, dimensions transversales, matériau et structure des conduits;
- b) perte limite d'insertion lorsque le conduit de substitution est bloqué, selon la description de C.2.2;
- c) position de la sortie du conduit dans la salle réverbérante.

#### 7.5 Pièces de raccordement

Les informations suivantes doivent, le cas échéant, être consignées:

- a) épaisseur de paroi, longueur, matériau;
- b) angle interne maximal;
- c) surface ouverte aux deux extrémités.

#### 7.6 Terminaison anéchoïque

Le coefficient de réflexion, y compris les pièces de raccordement et le conduit de mesurage, doit être consigné.

#### 7.7 Salle réverbérante

Le volume de la salle réverbérante doit être consigné.

#### 7.8 Résultats de l'essai acoustique

Les résultats d'essai suivants donnés de 7.8 a) à e) doivent être présentés sous forme de tableau, arrondis au nombre entier le plus proche, ainsi que sous forme de graphique en fonction de la fréquence, 5 mm en abscisse représentant la bande de fréquences d'un tiers d'octave et 20 mm en ordonnée représentant 10 dB. Une mise à l'échelle des deux axes par le même facteur est admise.

- a) Consigner la perte d'insertion dans les bandes de tiers d'octave de fréquences médianes comprises entre 50 Hz et 10 000 Hz (ou 100 Hz et 5 000 Hz, voir 3.17) pour chaque débit-volume utilisé. L'extrapolation des résultats de mesure aux températures au-delà de la plage de 250 K à 330 K, et/ou aux pressions au-delà de la plage de  $0,8 \times 10^5$  Pa à  $1,2 \times 10^5$  Pa n'est pas autorisée<sup>1)</sup>. Si l'on utilise des pièces de raccordement, il faut préciser ce qui suit:

«Cette perte d'insertion est valable pour l'objet en essai avec ses pièces de raccordement, les effets de celles-ci ne pouvant pas toujours être négligés.»

- b) Consigner la perte limite d'insertion de l'installation d'essai, en fonction de la fréquence.

---

1) L'ISO 14163 fournit des informations relatives à l'extrapolation.

- c) Consigner le niveau de puissance acoustique du bruit d'écoulement en l'absence de l'objet en essai pour tout débit-volume d'entrée auquel correspondent des mesurages.
- d) Consigner le niveau de puissance acoustique du bruit d'écoulement de l'objet en essai pour toute bande de fréquence et pour tout débit-volume d'entrée auxquels correspondent des mesurages.
- e) Consigner la perte de transmission, en bandes de tiers d'octave, pour les unités terminales ou bouches d'air, le cas échéant.

En outre, le coefficient moyen de perte de pression totale,  $\zeta$ , doit être consigné (voir 5.4.1.1 et 6.5.2).

## 7.9 Incertitude de mesure

Il n'est pas possible, à l'heure actuelle, de fournir des indications précises sur la qualité des systèmes et des modes opératoires nécessaires et sur le niveau de fidélité susceptible d'être atteint. Le rapport entre les dimensions géométriques et les longueurs d'ondes du bruit, la perte de transmission des parois du conduit, les propriétés absorbantes de l'objet en essai et la vitesse d'écoulement sont des paramètres importants. Les estimations de l'écart-type de reproductibilité  $\sigma_{R1}$  de la perte d'insertion indiqué dans le Tableau 7 ont été déterminées à partir d'essais effectués sur des silencieux à baffles parallèles. Les écarts-type de reproductibilité de la perte de transmission et des mesures de l'intensité acoustique sont des estimations reposant sur l'expérience.

**Tableau 7 — Estimations de l'écart-type de reproductibilité pour différentes bandes de fréquences**

Fréquences médianes de la bande d'un tiers d'octave	Ecart-type de reproductibilité $\sigma_{R1}$ de la perte d'insertion	Ecart-type de reproductibilité $\sigma_{R1}$ de la perte de transmission	Ecart-type de reproductibilité du niveau d'intensité mesuré selon l'ISO 9614-3
Hz	dB	dB	dB
50 à 100	1,5	3	3
125 à 500	1	3	1,5
630 à 1 250	2	3	1
1 600 à 10 000	3	3	1 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Limite de fréquence supérieure de 5 000 Hz.

Pour les essais sur des silencieux à section circulaire, voir référence [18].

Sauf si des connaissances plus spécifiques sont disponibles, l'incertitude de mesure étendue consignée, pour une probabilité de portée de 95 %, doit représenter deux fois l'écart-type de reproductibilité donné dans le Tableau 7.

## 8 Informations à fournir dans le rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes:

- a) la date et l'heure des mesurages;
- b) les informations consignées de 7.1 à 7.8.

Le rapport d'essai doit certifier que les mesurages ont été obtenus en pleine conformité avec les exigences de la présente Norme internationale.

Il est recommandé d'inclure une mention relative à l'incertitude de mesure conformément à 7.9.

## **Annexe A** **(normative)**

### **Conception du dispositif d'excitation du champ acoustique et essais de qualification**

#### **A.1 Généralités**

Des dispositifs de plusieurs types peuvent exciter à l'avant de l'objet en essai un champ acoustique dans lequel prédomineront des ondes acoustiques planes.

#### **A.2 Filtre modal pour mesurage sans écoulement**

Un conduit rectiligne, recouvert d'un matériau absorbant, est généralement suffisant si le coefficient d'absorption du revêtement, multiplié par la longueur du conduit, dépasse le diamètre transversal. Si l'espace est insuffisant pour la longueur du conduit, il est possible de réduire le diamètre transversal effectif au moyen de baffles absorbants dans le conduit (voir Figure A.1). Le coefficient d'absorption basse fréquence du revêtement augmente avec l'épaisseur de ce dernier.

#### **A.3 Dispositif d'excitation du champ acoustique pour le mesurage avec écoulement**

Le champ acoustique à l'avant de l'objet en essai peut être excité de différentes manières. Cependant, un essai de qualification conforme à l'Article A.4 est prescrit pour garantir que le champ acoustique à l'avant de l'objet en essai est dominé par un mode d'ondes acoustiques planes.

La Figure A.2 présente des conceptions possibles dans lesquelles le champ acoustique est excité par une enceinte acoustique placée dans une chambre source connectée au conduit de mesurage à l'avant de l'objet en essai.

Il convient que le rapport des aires des sections droites de la chambre source et du conduit de mesurage ne soit pas inférieur à 5:1 afin d'assurer des conditions d'écoulement uniforme à l'entrée de l'objet en essai.

Il convient que les haut-parleurs soient positionnés dans la chambre de façon à se trouver face à l'entrée du conduit de mesurage. Il convient d'assurer l'égalisation de la pression statique à l'avant et à l'arrière des membranes des haut-parleurs. Si l'on utilise plusieurs haut-parleurs, ceux-ci doivent fonctionner en phase.

L'excitation du champ acoustique utilisée pour les mesurages avec écoulement peut également être utilisée pour les mesurages sans écoulement, sous réserve de passer l'essai de qualification.

#### **A.4 Essais de qualification**

Pour vérifier la qualification du filtre modal (voir 5.2.2.3 et A.2), un mesurage de l'atténuation longitudinale, telle que spécifiée à l'Annexe F, est requis. Pour obtenir des informations sur les vérifications supplémentaires de la source sonore dans le cadre de l'essai acoustique, voir 5.2.2.5.

Pour l'excitation du champ acoustique dans le cadre du mesurage avec écoulement, l'essai de qualification suivant est prescrit.

L'essai de qualification est fondé sur la comparaison des pertes d'insertion mesurées.

Les opérations suivantes doivent être effectuées pour chaque bande de fréquences concernée:

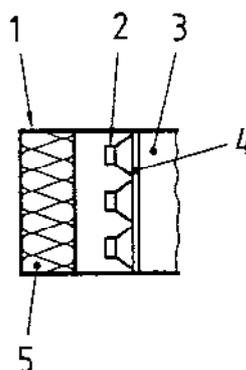
- détermination de la perte d'insertion de l'objet en essai conformément à 6.2 (c'est-à-dire sans écoulement) en utilisant l'excitation du champ acoustique conformément à la Figure A.1 (baffle de haut-parleur);
- détermination de la perte d'insertion de l'objet en essai conformément à 6.2 (c'est-à-dire sans écoulement) en utilisant le dispositif d'excitation du champ acoustique choisi prescrit à l'Article A.3.

Les configurations d'essai utilisées pour les opérations a) et b) ne doivent différer que dans la façon dont se produit l'excitation du champ acoustique.

Si la perte d'insertion déterminée conformément à l'opération a) est  $D_i \leq 20$  dB, les pertes d'insertion mesurées conformément aux opérations a) et b) ne doivent pas dévier de plus de 2 dB.

Si la perte d'insertion déterminée conformément à l'opération a) est  $D_i > 20$  dB, les pertes d'insertion mesurées conformément aux opérations a) et b) ne doivent pas dévier de plus de 3 dB.

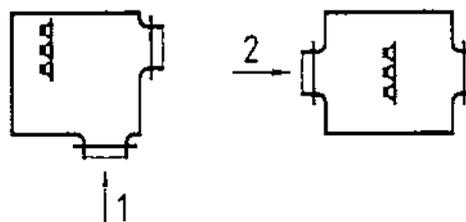
Le dispositif d'excitation sonore conçu conformément à l'Article A.3 est qualifié pour la bande de fréquence correspondante si les exigences ci-dessus sont satisfaites.



#### Légende

- enceinte
- haut-parleur
- conduit de mesurage
- baffle
- matériau absorbant

Figure A.1 — Présentation schématique d'un baffle de haut-parleur — Configuration d'essai réel



#### Légende

- écoulement d'air en essai réel
- écoulement d'air

Figure A.2 — Présentation schématique de l'excitation du champ acoustique à partir d'une chambre source

## Annexe B (normative)

### Élément de transmission

#### B.1 Conception d'un élément de transmission

**B.1.1** Dans le cadre des mesurages sans écoulement, toute forme de pavillon ou absorption dans l'élément de transmission est admise, ce qui limite le coefficient de réflexion de façon à ce qu'il ne dépasse pas les valeurs maximales autorisées données au Tableau 5.

**B.1.2** Pour le mesurage du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré), il est essentiel que l'élément transmette une grande partie de la puissance acoustique dans la salle réverbérante raccordée. Il doit donc avoir d'infimes pertes dissipatives et le coefficient de réflexion à l'extrémité ouverte doit être faible ou calculable conformément à B.3 (voir 5.4.2.6).

**B.1.3** L'élément de transmission ne doit pas produire de bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) qui perturberait le mesurage dans la salle réverbérante (voir 5.5.3).

**B.1.4** La paroi de l'élément de transmission doit présenter une perte de transmission élevée afin d'éviter les pertes d'énergie acoustique au travers de cette paroi.

**B.1.5** Un élément de transmission adapté au mesurage du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) se présente sous la forme d'un pavillon dont l'angle intérieur des parois ne dépasse pas 15° et les parois sont dures et rigides sur le plan acoustique (voir Figure B.1).

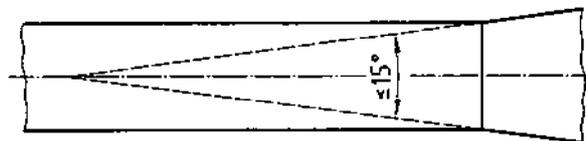


Figure B.1 — Schéma d'un élément de transmission adéquat

#### B.2 Mesurage du coefficient de réflexion d'un élément de transmission

**B.2.1** Le coefficient de réflexion de l'élément de transmission est donné par la formule suivante:

$$r = \frac{10^{\Delta L / 20} - 1}{10^{\Delta L / 20} + 1} \quad (\text{B.1})$$

La différence,  $\Delta L$ , entre les niveaux de pression acoustique maximaux et minimaux de l'onde stationnaire est mesurée dans un conduit rectiligne à parois rigides.

**B.2.2** Il est recommandé de mesurer le coefficient de réflexion en utilisant des sons purs aux fréquences médianes des bandes de tiers d'octave de 50 Hz jusqu'à la fréquence de coupure,  $f_C$ , des modes d'ordre supérieur dans le conduit.

**B.2.3** Il est également permis d'utiliser deux microphones pour déterminer la fonction de transfert complexe  $H_{12}$  entre les signaux des deux microphones espacés le long de l'axe du conduit de mesure à une distance  $s < cl(4f)$ , où  $c = 340$  m/s et  $f$  est la fréquence de mesure. L'amplitude du coefficient de réflexion en pression est alors calculée à partir de l'équation suivante:

$$r = \frac{H_{12} e^{j2\pi f s/c} - 1}{e^{j2\pi f s/c} - H_{12}} \quad (\text{B.2})$$

où  $j$  est le nombre imaginaire (voir également l'ISO 5136).

### B.3 Calcul de la perte de transmission et du coefficient de réflexion à l'extrémité ouverte d'un conduit

Pour les besoins de la présente Norme internationale, la perte de transmission,  $D_{td}$ , à l'extrémité ouverte d'un conduit rectiligne et rigide est calculée à partir de l'équation suivante:

$$D_{td} = 10 \lg \left[ 1 + \frac{\Omega}{\left( \frac{4\pi f \sqrt{S}}{c} \right)^2} \right] \text{dB} \quad (\text{B.3})$$

où

$S$  est l'aire de la section droite du conduit;

$\Omega$  est l'angle solide de rayonnement à l'extrémité du conduit (voir Tableau B.1);

$f$  est la fréquence;

$c$  est la vitesse du son dans l'air.

Logiquement, le coefficient de réflexion,  $r$ , est calculé à partir de l'Équation (B.4):

$$r = \left[ \frac{1}{\Omega \left( \frac{4\pi f \sqrt{S}}{c} \right)^2} + 1 \right]^{-1/2} \quad (\text{B.4})$$

Table B.1 — Valeurs de  $\Omega$  pour les configurations présentées à la Figure B.2

Configuration	$\Omega$
A	$2\pi$
B	$\pi$
C	$4\pi$
D	$2\pi$
E	$4\pi$

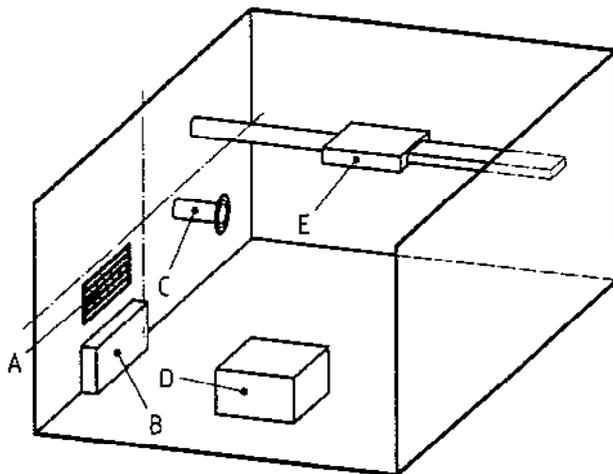


Figure B.2 — Positionnement des unités terminales dans la salle d'essai (voir Tableau B.1)

## **Annexe C** **(normative)**

### **Parois du conduit et perte limite d'insertion**

#### **C.1 Transmission latérale**

##### **C.1.1 Généralités**

La perte limite d'insertion d'une installation d'essai est fonction de la transmission acoustique latérale due aux phénomènes suivants (voir Figure C.1):

- voie secondaire solidienne (voir C.1.2);
- voie secondaire aérienne (I) au travers des parois du conduit et de la salle d'essai (voir C.1.3);
- voie secondaire aérienne (II) par les ouvertures des conduits (voir C.1.4).

##### **C.1.2 Transmission acoustique par voie secondaire solidienne**

En général, la transmission acoustique par voie secondaire solidienne est la plus importante. La transmission latérale le long des parois du conduit peut être réduite

- en utilisant des matériaux à pertes internes importantes comme les structures sandwich, pour les parois du conduit, ou
- en fractionnant les conduits de mesurage en sections reliées par des joints élastiques.

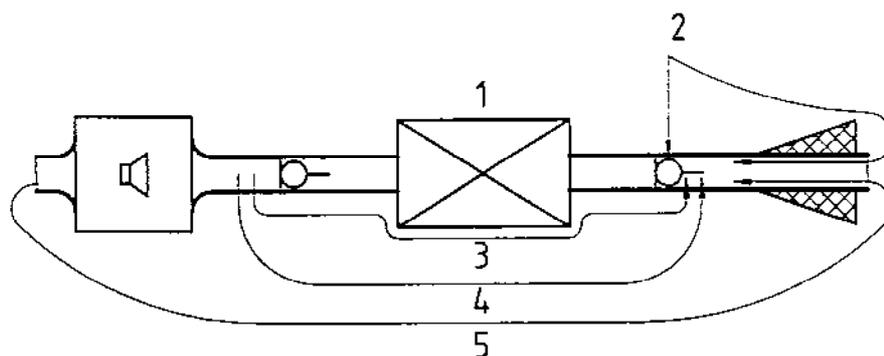
##### **C.1.3 Transmission acoustique par voie secondaire aérienne (I)**

La transmission acoustique par voie secondaire aérienne (I) au travers des parois du conduit et de la salle d'essai peut être évitée en utilisant des parois de conduit lourdes et/ou des parois doubles avec une perte d'insertion d'au moins 30 dB. Il convient d'éviter les fuites acoustiques grâce à une étanchéisation efficace des ouvertures, même les plus petites.

##### **C.1.4 Transmission acoustique par voie secondaire aérienne (II)**

La transmission acoustique par voie secondaire aérienne (II) par les ouvertures de conduits peut être réduite

- en plaçant les extrémités opposées du conduit dans des pièces différentes, et/ou
- en plaçant des silencieux ou des terminaisons anéchoïques à forte absorption aux extrémités des conduits.



### Légende

- 1 objet en essai
- 2 bruit ambiant
- 3 transmission par voie secondaire solide
- 4 transmission par voie secondaire aérienne (I)
- 5 transmission par voie secondaire aérienne (II)

Figure C.1 — Transmissions secondaires dans les dispositifs d'essai pour mesurage d'objets en conduit

## C.2 Dispositifs pour déterminer la perte limite d'insertion

C.2.1 Deux autres méthodes possibles pour déterminer la perte limite d'insertion sont données en C.2.2 et C.2.3 (voir Figure C.2).

C.2.2 Les conduits de mesurage doivent être bloqués par des panneaux fortement isolants, par exemple des panneaux doubles en béton hermétiquement scellés aux parois du conduit, là où l'objet en essai doit être monté. Il convient que le panneau d'isolation disposé face à la source sonore possède une couche de matériau de bonne absorption acoustique.

NOTE En l'absence de cette couche absorbante, il se formera des ondes stationnaires et on obtiendra une valeur erronée de la perte limite d'insertion.

Le mode opératoire de mesure de la perte limite d'insertion doit être identique à celui mis en œuvre pour la détermination de la perte d'insertion d'un objet en essai (voir 6.1).

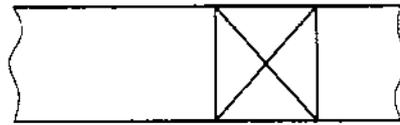
C.2.3 L'objet en essai doit être monté sur place et les conduits de mesurage doivent être bouchés par des panneaux en aggloméré ou en placoplâtre pour assurer l'étanchéité à l'air.

Mesurer la perte d'insertion du dispositif en suivant le mode opératoire conforme à 6.2, mis en œuvre pour l'objet en essai seul.

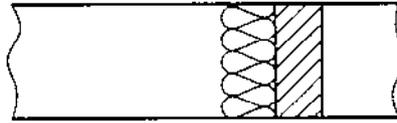
Si l'ajout du panneau augmente la perte d'insertion mesurée d'au moins 10 dB, la perte d'insertion mesurée pour l'objet en essai seul n'est pas affectée par la transmission latérale du bruit.

NOTE Dans ce cas, la perte limite d'insertion du dispositif d'essai pourrait être supérieure à la perte d'insertion mesurée avec les panneaux. On obtient la perte limite d'insertion en ajoutant de plus en plus de panneaux jusqu'à ce que l'on ne puisse plus obtenir d'augmentation de la perte d'insertion mesurée.

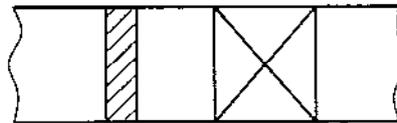
Si l'augmentation de la perte d'insertion mesurée due à l'ajout de panneaux est inférieure à 10 dB, ajouter d'autres panneaux jusqu'à ce que l'on ne puisse plus obtenir d'augmentation de la perte d'insertion mesurée, c'est-à-dire jusqu'à ce que la perte limite d'insertion du banc d'essai soit atteinte.



a) Objet en essai



b) Selon C.2.2



c) Selon C.2.3

Figure C.2 — Dispositifs destinés à déterminer la perte limite d'insertion

## Annexe D (normative)

### Conversion des valeurs d'atténuation en bande de tiers d'octave en valeurs d'atténuation en bande d'octave

Conformément à la présente Norme internationale, l'atténuation est mesurée en bandes de tiers d'octave. La conversion en bandes d'octave doit être effectuée à l'aide de la formule suivante:

$$D_{1/1} = -10 \lg \left( \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 10^{-0,1D_{1/3,k}} \right) \text{dB} \quad (\text{D.1})$$

où

$D_{1/1}$  est la valeur d'atténuation, en décibels, pour la bande d'octave concernée;

$D_{1/3,1}$  à  $D_{1/3,3}$  sont les valeurs d'atténuation, en décibels, pour les trois bandes de tiers d'octave constituant la bande d'octave concernée.

La déclaration des valeurs d'atténuation en bande d'octave est suffisante pour le bruit à large bande et pour les silencieux avec effet à large bande. Pour le bruit tonal et les silencieux à résonateur avec effet à bande étroite, il est recommandé de donner les valeurs d'atténuation en bandes de tiers d'octave.

NOTE Les données relatives à l'atténuation en bande d'octave peuvent dépendre largement du spectre du son (voir l'ISO 14163:1998, Annexe B).

## Annexe E (normative)

### Mesurages sur des silencieux de grande taille à baffles parallèles

Les dimensions des silencieux à baffles peuvent être trop importantes ou trop variables d'un silencieux à l'autre pour permettre leur essai en tant qu'unités complètes sur une installation, conformément à la présente Norme internationale. Dans ce cas, une maquette du silencieux, présentant une largeur et une hauteur réduites, doit être soumise à l'essai. Les baffles de cette maquette doivent être insérés dans un conduit de substitution. Ce dernier peut présenter toute hauteur appropriée supérieure à l'épaisseur des baffles soumis à l'essai.

NOTE 1 Les hauteurs courantes des baffles d'essai sont de 500 mm et 600 mm.

La maquette doit présenter les mêmes spécifications (type de baffle, longueur et largeurs, largeurs de voie (voir également Note 2) que le type de silencieux à soumettre à l'essai; en d'autres termes, elle doit représenter le modèle du type de silencieux en essai. Des exemples de modèles admis sont donnés à la Figure E.1.

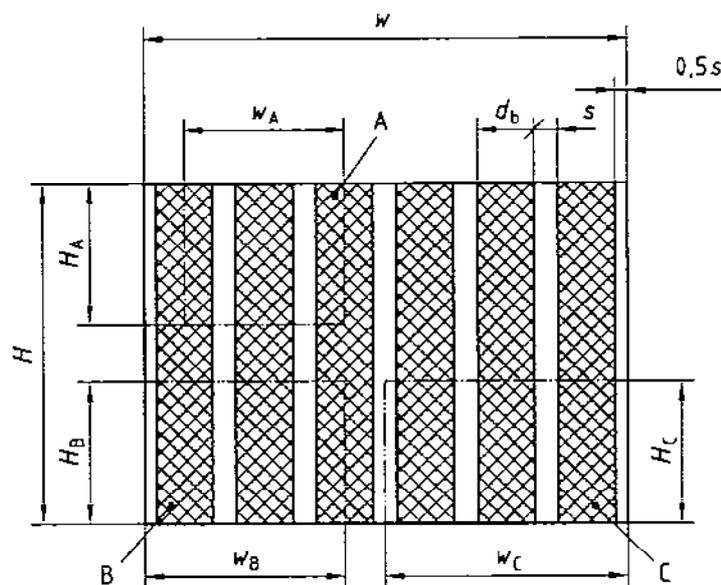


Figure E.1 — Représentation schématique du silencieux réel illustrant un exemple présentant trois modèles

Les exigences minimums suivantes doivent être respectées:

- le type de baffle (symétrique ou non);
- la longueur de baffle;
- la ou les largeurs de voie (complète et demi, voir Note 2)

doivent être identiques à ceux du silencieux réel.

Les baffles doivent être bloqués entre les parois supérieure et inférieure de la section du conduit de mesurage.

NOTE 2 Généralement, les voies les plus à l'extérieur (ou les baffles, respectivement) d'un silencieux représentent la moitié de la largeur des voies intérieures (ou des baffles), car les parois du conduit réfléchissent géométriquement le bruit.

NOTE 3 Il est courant d'utiliser une garniture élastique entre la partie supérieure du baffle et la paroi supérieure (généralement amovible) de la section du conduit de mesurage.

La maquette peut contenir les éléments suivants.

a) Pour un silencieux contenant des baffles symétriques:

- des baffles pleine largeur entre deux voies pleine largeur (modèles A, B et C de l'exemple ci-dessous);
- des baffles pleine largeur avec une voie demi-largeur face à la paroi du conduit et une voie pleine largeur de l'autre côté (modèles B et C de l'exemple ci-dessous);
- des baffles demi-largeur bloqués contre la paroi du conduit de mesurage (modèle B de l'exemple ci-dessous).

Pour des raisons aérodynamiques, il est préférable d'utiliser des baffles pleine largeur.

NOTE 4 Parmi les exemples fournis, seul le modèle C pourrait être admis pour un silencieux à baffles dissymétriques.

b) Pour un silencieux contenant des baffles dissymétriques, les baffles demi-largeur ne doivent pas être utilisés.

La perte d'insertion de la maquette, mesurée conformément au présent mode opératoire, correspond à celle des silencieux réels dont la hauteur et la largeur sont différentes mais pour lesquels les autres spécifications sont identiques.

Il est possible de calculer le niveau de puissance acoustique du bruit d'écoulement (ou bruit régénéré) du silencieux réel à partir de celui mesuré avec la maquette:

$$L_{W',flow,sil} = L_{W',flow,test} + 10 \lg (S_{sil} / S_{test}) \text{ dB} \quad (\text{E.1})$$

où

$L_{W',flow,sil}$  est le niveau de puissance acoustique prévisible du bruit d'écoulement pour le silencieux réel, en décibels (dB);

$L_{W',flow,test}$  est le niveau de puissance acoustique du bruit d'écoulement mesuré avec la maquette, en décibels (dB);

$S_{sil}$  est l'aire de la section droite du silencieux réel, en mètres carrés (m<sup>2</sup>);

$S_{test}$  est l'aire de la section droite de la maquette, en mètres carrés (m<sup>2</sup>).

Aucune correction ne doit être appliquée au coefficient de perte de pression de la maquette.

#### EXEMPLE

Modèles d'un silencieux avec baffles identiques.

Largeur  $w$ : 1 700 mm

Hauteur  $H$ : 1 200 mm

Épaisseur de baffle  $t_b$ : 200 mm

Largeur de voie  $s$ : 83 mm

Dans l'exemple, présenté à la Figure E.1, les dimensions des modèles sont:

A: 567 mm × 500 mm

B: 708 mm × 500 mm

C: 850 mm × 500 mm

$H_A = H_B = H_C = 500$  mm

$w_A = 567$  mm

$w_B = 708$  mm

$w_C = 850$  mm

## Annexe F (normative)

### Essai relatif à l'atténuation longitudinale

L'atténuation longitudinale d'un conduit à section constante et de conception longitudinale uniforme est déterminée au moyen d'un microphone déplacé le long de l'axe du conduit. La diminution du niveau de pression acoustique par unité de longueur qui apparaît au milieu du conduit représente la perte de propagation,  $D_a$ . L'atténuation longitudinale du mode fondamental dans le domaine de fréquences représentatif est déterminée par le produit  $D_a l_m$ , où  $l_m$  est la longueur du revêtement absorbant.

## Annexe G (informative)

### Terminaisons anéchoïques

#### G.1 Guide pour l'étude et la réalisation d'une terminaison anéchoïque

**G.1.1** La caractéristique essentielle d'une terminaison anéchoïque consiste en une variation suffisamment progressive de la section du conduit afin d'éliminer un retour des ondes acoustiques par réflexion dans le conduit qui perturberaient les mesurages des niveaux acoustiques. Ce critère est fixé en 5.2.4.3 sous la forme d'un coefficient maximal admissible de réflexion en pression. Une méthode de détermination de la conformité d'une extrémité donnée aux exigences de 5.2.4.3 est décrite en G.2.

**G.1.2** Plusieurs projets conformes aux exigences de 5.2.4.3 ont été décrits dans l'ISO 5136 et les références [14], [23], [18] et [21].

**G.1.3** L'ISO 5136 présente des projets qui ont été mis en œuvre avec succès dans plusieurs laboratoires. Dans ces projets, la variation progressive de la section du conduit a, approximativement, la forme d'un pavillon caténoïdal qui donne des résultats légèrement meilleurs qu'un pavillon exponentiel. Comme dans la plupart des terminaisons anéchoïques les plus performantes, une partie du pavillon est remplie de matériau absorbant afin d'atténuer le bruit des systèmes montés en aval. Des détails sur les caractéristiques de ces pavillons ainsi que sur l'effet de diverses autres conceptions sont donnés dans les références [23] et [18].

Il n'est pas nécessaire d'obtenir exactement un profil exponentiel ou caténoïdal. On peut les approcher par quatre sections coniques, comme indiqué à la Figure G.1.

**G.1.4** L'ouverture de la terminaison anéchoïque et l'extrémité du conduit étant en transition régulière, leurs diamètres intérieurs sont identiques à leur jonction, comme à la Figure G.1. Certaines dimensions des terminaisons anéchoïques sont données par rapport au diamètre intérieur,  $d$ , du conduit de mesurage.

Toutefois, il convient d'utiliser des diamètres autres que ceux essayés uniquement jusqu'à un certain degré, car ceci conduira à des changements du rapport de la longueur d'onde aux dimensions.

Le revêtement extérieur de la terminaison peut être fabriqué à partir de tout matériau suffisamment rigide pour conserver ses caractéristiques dimensionnelles.

Dans la terminaison anéchoïque présentée à la Figure G.1, le passage de l'air au travers de la partie centrale du pavillon s'effectue par des plaques métalliques perforées sur environ 35 % de la surface. Le volume compris entre la plaque perforée et les sections cylindriques du pavillon est rempli d'un matériau poreux absorbant (par exemple, mousse de polyuréthane expansé ayant une masse volumique d'environ 32 kg/m<sup>3</sup>).

#### G.2 Évaluation des performances

**G.2.1** Le présent article donne un exemple de détermination du coefficient de réflexion en pression. Le coefficient de réflexion en pression,  $r$ , est calculé à partir du mesurage de la différence  $\Delta L$  des niveaux maximal et minimal de pression acoustique dans le conduit, résultant de l'onde stationnaire formée par la superposition des ondes planes incidentes et réfléchies, pour chaque fréquence médiane de bande de fréquences, selon l'Équation (B.1).

**G.2.2** Il est recommandé de mesurer le coefficient de réflexion en pression entre 50 Hz et la fréquence de coupure,  $f_C$ , correspondant au premier mode croisé donné par les Équations (4) et (5).

NOTE Ce n'est qu'aux fréquences inférieures à  $f_C$  que l'on peut assurer que seules des ondes planes se propagent dans le conduit.

G.2.3 Une méthode d'évaluation des caractéristiques de la terminaison anéchoïque est donnée de G.2.3.1 à G.2.3.7.

G.2.3.1 Après avoir raccordé la terminaison anéchoïque au conduit de mesure, monter un haut-parleur de bonne qualité dans un panneau qui recouvre l'entrée du conduit de mesure.

G.2.3.2 Prendre les dispositions nécessaires pour pouvoir déplacer un microphone sur toute la longueur dans l'axe du conduit de mesure.

G.2.3.3 Alimenter le haut-parleur par un signal sinusoïdal fourni par un générateur basse fréquence par l'intermédiaire d'un amplificateur, si nécessaire, de fréquence égale à la fréquence médiane du tiers d'octave considéré.

G.2.3.4 Filtrer le signal microphonique à l'aide d'un analyseur en bande étroite ou en bande de tiers d'octave et enregistrer le signal filtré avec un enregistreur graphique de niveaux.

Si l'on ne dispose pas d'un enregistreur graphique de niveaux, on peut relever manuellement les niveaux de pression acoustique maximal et minimal.

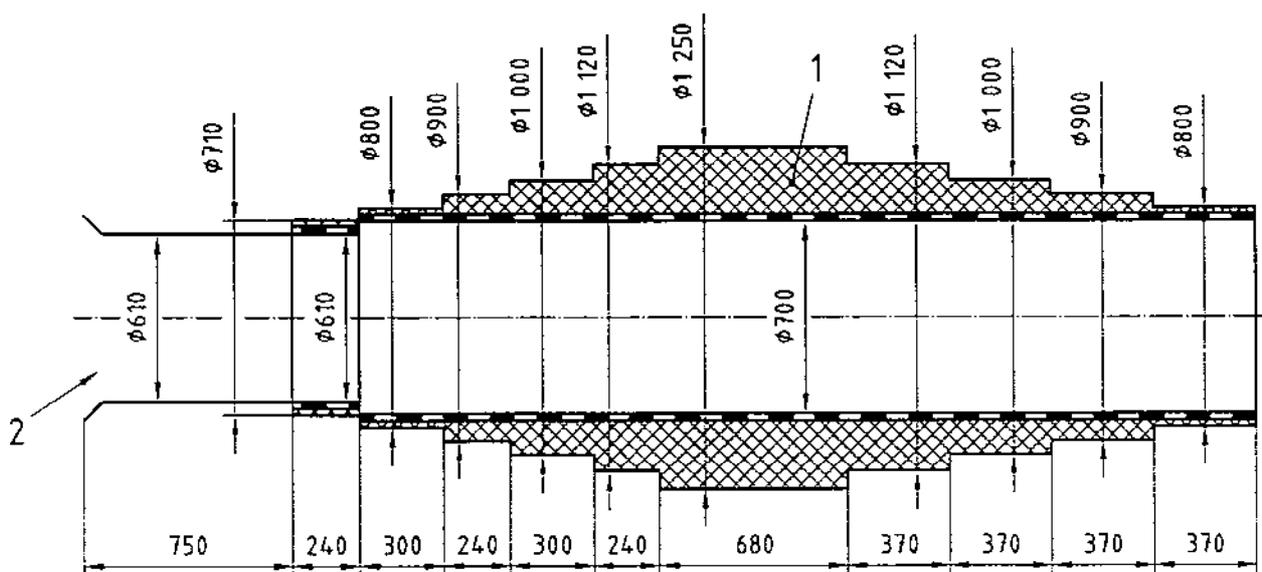
G.2.3.5 Déplacer le microphone le long de l'axe du conduit de mesure et déterminer la différence entre les niveaux de pression acoustique maximal et minimal à partir de la sortie de l'enregistreur graphique de niveaux.

G.2.3.6 Calculer la différence entre les niveaux de pression acoustique minimal et maximal ( $\Delta L$ ) et l'insérer dans l'Équation (B.1). Comparer le coefficient de réflexion  $r$  obtenu avec les valeurs indiquées en 5.2.4.3.

G.2.3.7 Répéter les opérations de G.2.3.3 à G.2.3.5 aux fréquences médianes des bandes de tiers d'octave comprises entre 50 Hz et  $f_C$ .

G.2.3.8 Si la terminaison anéchoïque est munie d'un dispositif de contrôle du débit, répéter l'opération G.2.3.7 avec l'étrangleur réglé pour obtenir le débit maximal et ensuite le débit minimal.

Dimensions en millimètres



Légende

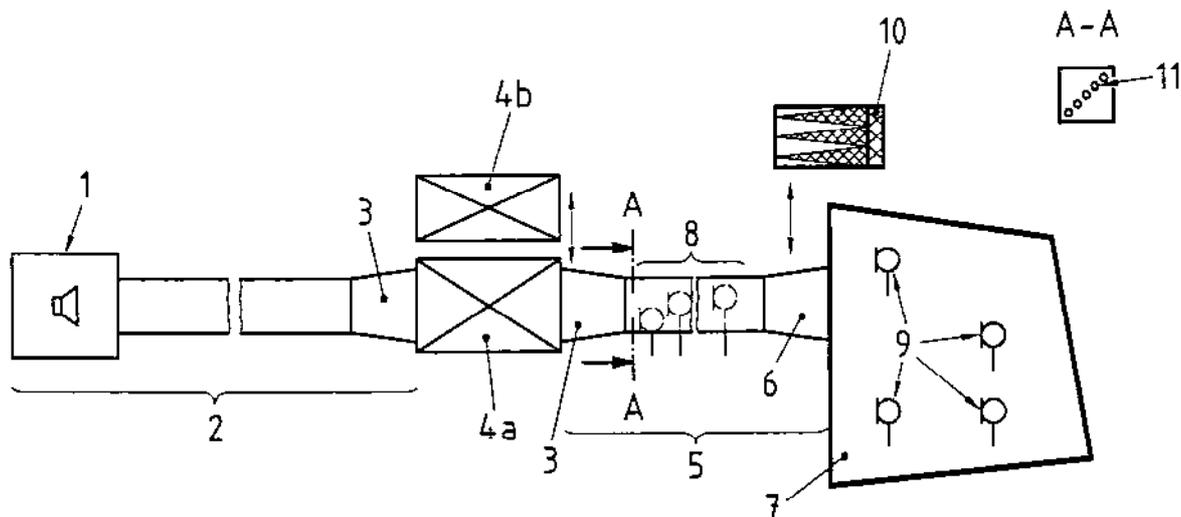
- 1 matériau poreux absorbant
- 2 dispositif de mesure du débit

Figure G.1 — Exemple de terminaison anéchoïque

## Annexe H (informative)

### Exemples de dispositifs de mesure

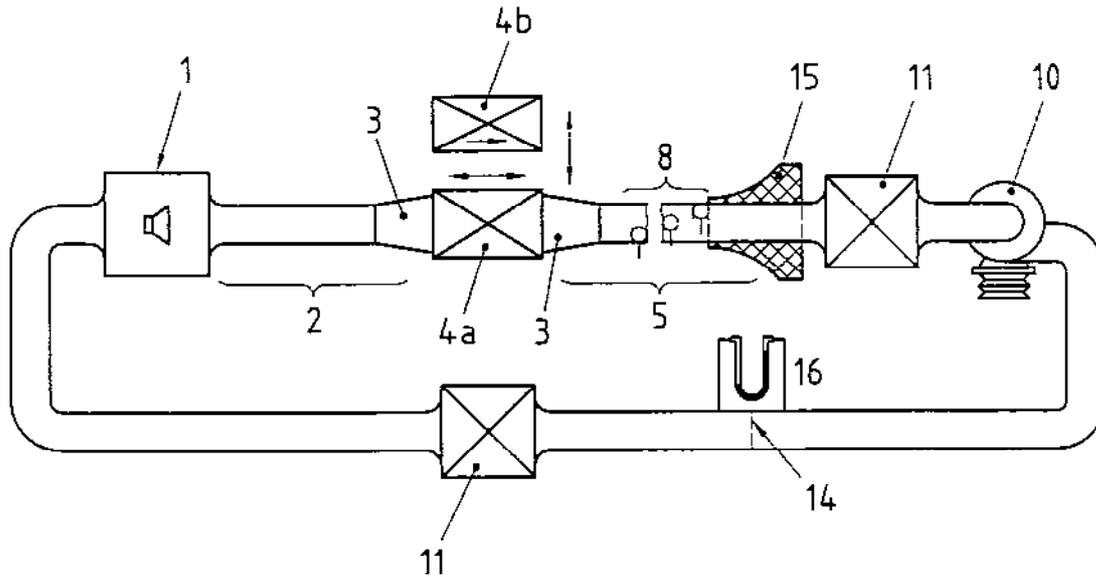
Des exemples de dispositifs de mesure sont donnés aux Figures H.1 et H.2



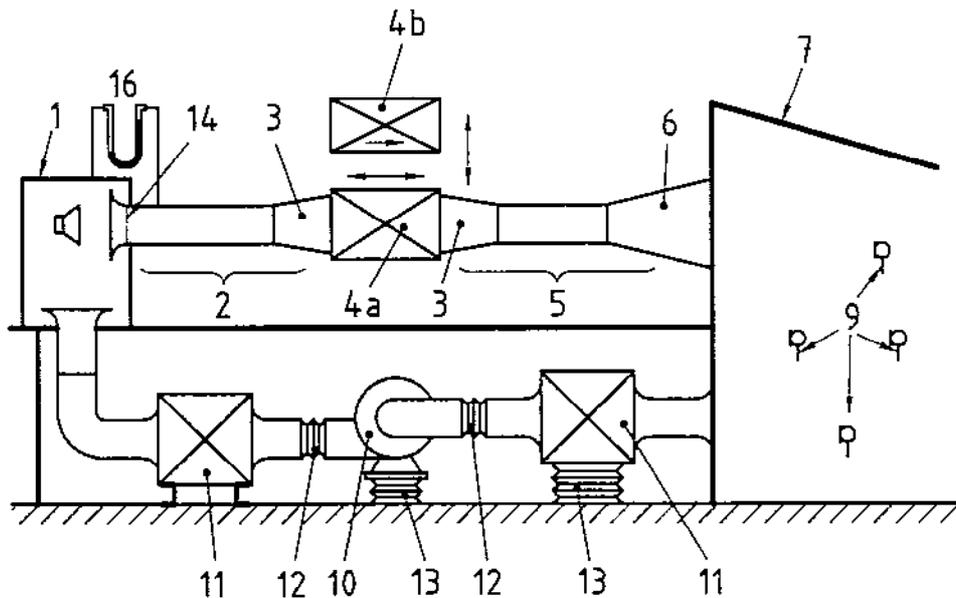
#### Légende

- 1 enceinte acoustique
- 2 conduit de mesurage en avant de l'objet en essai
- 3 pièce de raccordement
- 4a objet en essai
- 4b conduit de substitution
- 5 conduit de mesurage à l'arrière de l'objet en essai
- 6 élément de transmission (avec 7, en remplacement de 10)
- 7 salle réverbérante (avec 6, en remplacement de 10)
- 8 positions de microphone à l'arrière de l'objet en essai (en remplacement de 9)
- 9 positions de microphone dans la salle réverbérante (en remplacement de 8)
- 10 terminaison anéchoïque (en remplacement de 6 et 7)
- 11 positions des microphones

**Figure H.1 — Exemple de dispositif d'essai pour le mesurage de la perte d'insertion sans écoulement d'air**



a) Configuration pour mesurages en conduit



b) Configuration avec salle réverbérante

**Légende**

- |  |   |
|--|---|
| 1 enceinte acoustique dans la chambre source                         | 9 positions de microphone dans la salle réverbérante (en remplacement de 8)   |
| 2 conduit de mesure à l'avant de l'objet en essai                    | 10 ventilateur (installé pour générer un écoulement soit avant soit arrière par rapport à la direction de propagation du son) |
| 3 pièce de raccordement  | 11 silencieux du ventilateur  |
| 4a objet en essai  | 12 sections de conduit élastique  |
| 4b conduit de substitution   | 13 isolation antivibratoire   |
| 5 conduit de mesure à l'arrière de l'objet en essai                  | 14 injecteur pour le mesure du débit (autres solutions: orifice ou tuyère venturi)  |
| 6 élément de transmission, utilisé également comme diffuseur de flux | 15 terminaison anéchoïque   |
| 7 salle réverbérante   | 16 mesure de la pression statique   |
| 8 microphones avec écran antivent (en remplacement de 9)             |   |

**Figure H.2 — Exemples de dispositif d'essai pour les mesurages de la perte d'insertion avec écoulement d'air et/ou bruit d'écoulement (ou bruit régénéré)**

## Bibliographie

- [1] ISO 3966, *Mesure du débit des fluides dans les conduites fermées — Méthode d'exploration du champ des vitesses au moyen de tubes de Pitot doubles*
- [2] ISO 5135, *Acoustique — Détermination des niveaux de puissance acoustique du bruit émis par les bouches d'air, les unités terminales, les registres et clapets au moyen de mesurages en salle réverbérante*
- [3] ISO 5136, *Acoustique — Détermination de la puissance acoustique rayonnée dans un conduit par des ventilateurs et d'autres systèmes de ventilation — Méthode en conduit*
- [4] ISO 5725-1, *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure — Partie 1: Principes généraux et définitions*
- [5] ISO 5725-2, *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure — Partie 2: Méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée*
- [6] ISO 5725-3, *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure — Partie 3: Mesures intermédiaires de la fidélité d'une méthode de mesure normalisée*
- [7] ISO 5725-4, *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure — Partie 4: Méthodes de base pour la détermination de la justesse d'une méthode de mesure normalisée*
- [8] ISO 5725-5, *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure — Partie 5: Méthodes alternatives pour la détermination de la fidélité d'une méthode de mesure normalisée*
- [9] ISO 5725-6, *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure — Partie 6: Utilisation dans la pratique des valeurs d'exactitude*
- [10] ISO 11200:1995, *Acoustique — Bruit émis par les machines et équipements — Guide d'utilisation des normes de base pour la détermination des niveaux de pression acoustique d'émission au poste de travail et en d'autres positions spécifiées*
- [11] ISO 11820:1996, *Acoustique — Mesurages sur silencieux in situ*
- [12] ISO 14163:1998, *Acoustique — Lignes directrices pour la réduction du bruit au moyen de silencieux*
- [13] EN 12238, *Ventilation des bâtiments — Bouches d'air — Essais aérodynamiques et étalonnage pour une application en diffusion de mélange*
- [14] EN 12239, *Ventilation des bâtiments — Bouches d'air — Essais aérodynamiques et caractérisation pour les applications déplacement d'air*
- [15] EN 12589, *Ventilation des bâtiments — Unités terminales — Essais aérodynamiques et évaluation des unités terminales à débit constant et variable*
- [16] BS 4718, *Methods of test for silencers for air distribution systems*
- [17] ASTM E 477-73, *Standard method of testing — Duct liner materials and prefabricated silencers for acoustical and airflow performance*
- [18] BOLTON, A. N. and MARGETTS, E. J. *Anechoic terminations for in-duct fan noise measurements. International Conference on Fan Design and Applications, Guildford, England: Sept. 7-9, 1982, pp. 311-325*

- [19] IDELCHIK, I.E. *Handbook of hydraulic resistance*, 3rd edition 1994, Begell House; ISBN 0-8493-99908-4
- [20] NEISE, W., HOPPE, G. and HERRMANN, I. W. Geräuschmessungen an Ventilatoren. *Heizung, Lüftung, Haustechnik*, **38**, 1987, pp. 343-351
- [21] Nordtest, NT ACOU 095:96, *Ducted silencers; Transmission loss, transfer function*
- [22] Nordtest, NT ACOU 105:2000-04, *Air terminal devices — Acoustic transmission loss*
- [23] SHENODA, F. B. *Reflexionsarme Abschlüsse für durchströmte Kanäle. Akustik und Schwingungstechnik*, VDE-Verlag GmbH, Berlin, 1972, p. 269
- [24] UTSUMI, M. An efficient method for sound transmission in non-uniform circular ducts. *J. Sound Vib.*, **227** (4), 1999, pp. 735-748