suva



Mesurage des émissions acoustiques produites par les machines

Niveaux de puissance acoustique selon SN EN ISO 3746

Quel est l'objectif de cette publication? 4

1 Caractéristiques d'émission pour l'indication du niveau acoustique 5

1.1 Émissions et immissions sonores 5
1.2 Niveau de puissance acoustique 5
1.3 Valeur d'émission spécifique au poste de travail 6

2 Déclaration de bruit selon les prescriptions suisses et européennes 7

2.1 Obligation de déclaration pour les fournisseurs de machines 7
2.2 Émissions sonores des matériels destinés à être utilisés en plein air 8
2.3 Obligation d'information 9
2.4 Mesurage du bruit, laboratoires d'essais (directive 2006/42/CE) 9

3 Niveau de pression acoustique et niveau de puissance acoustique, notions de base et définitions 10

3.1 Généralités 10
3.2 Pression acoustique 10
3.3 Niveau de pression acoustique 10
3.4 Puissance acoustique 10
3.5 Niveau de puissance acoustique 11
3.6 Comparaison entre niveau de pression acoustique et niveau de puissance acoustique 11
3.7 Addition de niveaux acoustiques 12
3.8 Procédé de mesure d'intensité 12

4 Procédé de mesure sur surface enveloppante: conditions générales 13

4.1 Bases 13
4.2 Objet et domaine d'application 13
4.3 Normes de référence 13
4.4 Classes de précision 14
4.5 Terminologie 15
4.6 Instruments de mesure 16
4.7 Incertitude de mesurage 16

5 Conditions préalables de mesurage 17

5.1 Généralités 17
5.2 Position de la source 17
5.3 Fixation de la source 17
5.4 Dispositifs auxiliaires 17
5.5 Machines portatives 17
5.6 Appareils et machines fixés au sol ou contre un mur 17
5.7 Conditions normales d'exploitation 17
5.8 Définition de conditions spéciales d'exploitation 18

6 Surface de mesure 19

6.1 Généralités 19
6.2 Sélection de la surface de mesure 19
6.3 Surface hémisphérique 20
6.3.1 Dimension de la surface hémisphérique 20
6.3.2 Surface de mesure et positions des microphones 20
6.4 Surface parallélépipédique 21
6.4.1 Dimension de la surface parallélépipédique 21
6.4.2 Surface de mesure et positions des microphones 22
6.5 Autres méthodes de sélection des positions des microphones 23
6.5.1 Positions supplémentaires 23
6.5.2 Réduction du nombre de positions 23

7 Environnement de mesure 25

7.1 Généralités 25
7.2 Types de surfaces réfléchissantes 25

8 Exécution du mesurage 26

8.1 Conditions environnantes 26
8.2 Mesure du niveau de pression acoustique 26
8.3 Calcul du niveau de pression acoustique 26
8.4 Correction pour le bruit de fond 26
8.5 Correction pour l'environnement de mesure 27
8.5.1 Réverbération 27
8.5.2 Méthode estimative 28
8.6 Calcul du niveau de pression acoustique surfacique pondéré A 28

9 Niveau de puissance acoustique 29

9.1 Calcul du niveau de puissance acoustique pondéré A 29
9.2 Détermination de paramètres supplémentaires 29
9.3 Rapport de mesure 29
9.3.1 Source sonore 29
9.3.2 Conditions de mesure 29
9.3.3 Environnement acoustique 30
9.3.4 Instruments de mesure 30
9.3.5 Données acoustique 30
9.3.6 Autres données possibles 30
9.3.7 Récapitulation 30
9.3.8 Modèle de rapport 30

10 Conversion du niveau de puissance acoustique en niveau de pression acoustique 31

10.1 Généralités 31
10.2 Types de champs sonores 31
10.2.1 Champ sonore libre 31
10.2.2 Champ sonore diffus 31
10.2.3 Champ sonore dans un local 31
10.3 Calcul du niveau de puissance acoustique dans les locaux industriels 31
10.3.1 Base de calcul générale 31
10.3.2 Critères de classification de l'acoustique ambiante et de la propagation du son 31
10.3.3 Champ sonore diffus 32
10.3.4 Champ sonore direct et diffus 32
10.3.5 Champ sonore direct et décroissant 32
10.3.6 Propagation du son à l'extérieur 32
10.4 Exemple 33
10.4.1 Définition du problème 33
10.4.2 Questions 33
10.4.3 Solutions 33

11 Formulation des exigences 35

11.1 Introduction 35
11.2 Bases légales 35
11.3 Valeurs limites du bruit dangereux pour l'ouïe 35
11.4 Exigences concrètes 35
11.4.1 Valeurs d'émission 35
11.4.2 Valeurs d'immission 35
11.4.3 Remarque 35
11.5 Valeur indicative relative: état de la technique 35

12 Conclusions 36

13 Bibliographie 37

Annexe 1
Récapitulation des feuillets complémentaires à la norme DIN 45635 38
Annexe 2
Rapport de mesure 40
Annexe 3
Rapport de mesure (exemple) 42
Annexe 4
Bases légales relatives à la formulation d'exigences en matière d'immissions sonores de machines et d'installations 44
Annexe 5
Valeurs limites du bruit dangereux pour l'ouïe 45

Quel est l’objectif de cette publication?

La présente brochure constitue un outil de travail destiné aux fabricants, aux vendeurs de machines, aux planificateurs et aux préposés à la sécurité. Elle décrit une méthode pratique de détermination des émissions acoustiques des machines.

Le «niveau de puissance acoustique» constitue la base de calcul utilisée. Cette valeur acoustique indique le volume de bruit produit par une machine. Les nuisances sonores d’un poste de travail sont déterminées d’après le niveau de puissance acoustique et les caractéristiques de l’emplacement de la machine considérée.

Selon les prescriptions en vigueur en Suisse et dans les pays de l’Union européenne, les machines doivent remplir des «exigences essentielles de santé et de sécurité», qui stipulent également l’observation de certaines valeurs limites de bruit. Les fournisseurs sont par ailleurs tenus d’indiquer les valeurs d’émission acoustique de leurs produits dans les notices d’instructions correspondantes. Les indications requises sont définies de manière très précise dans la directive «Machines» européenne, que la Suisse a reprise à son compte.

Les acheteurs posent également des exigences et les fabricants prennent de plus en plus souvent l’initiative de préciser eux-mêmes les valeurs limites de bruit des machines et des installations techniques qui leur sont commandées.

Une méthode de mesurage pratique
La méthode présentée dans les pages qui suivent est indispensable pour remplir l’ensemble des exigences susmentionnées. La description proposée repose notamment sur la méthode de mesurage de la norme EN ISO 3746 de décembre 2010 pour la classe de précision 3, à savoir une méthode permettant l’utilisation d’instruments de mesure relativement simples.

En annexe, vous trouverez un modèle de procès-verbal de mesure ainsi que la description des exigences relatives aux émissions acoustiques des machines devant figurer dans les conditions de livraison soumises aux acheteurs.

1 Caractéristiques d’émission pour l’indication du niveau acoustique

1.1 Émissions et immissions sonores

Les caractéristiques d’émission des machines et installations indiquent le volume de bruit qu’elles produisent. En revanche, les valeurs d’immission indiquent le bruit tel qu’il est perçu en un point donné, c’est-à-dire le niveau de pression acoustique mesurable en ce point (de telles indications figurent par exemple dans les tableaux de niveaux sonores de la Suva, www.suva.ch/86005.f).

Les indications de niveau acoustique relatives aux machines sont toujours des valeurs d’émission. Dans un cas concret, outre les émissions sonores de toutes les machines, le bruit à un poste de travail est tributaire des propriétés géométriques et acoustiques du local.

Pour les indications de niveau acoustique, deux caractéristiques d’émission sont considérées. Celles-ci sont présentées de manière plus détaillée ci-dessous:
- niveau de puissance acoustique L_{WA}
- valeur d’émission spécifique au poste de travail L_{pA}

1.2 Niveau de puissance acoustique

Le niveau de puissance acoustique L_{WA} est la mesure du volume sonore total produit par une machine. Il dépend de l’intensité des ondes sonores rayonnées et de la taille de la machine (fig. 1).

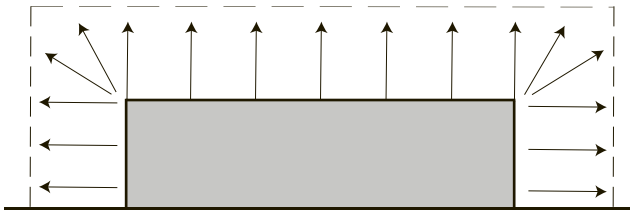


Fig. 1 Le niveau de puissance acoustique indique le rayonnement sonore total produit par une machine.

Dans un local contenant plusieurs machines en service, le bruit augmente en fonction de la somme de tous les niveaux de puissance acoustique.

La valeur du niveau de puissance acoustique comme indice unique du rayonnement sonore s’exprime en dB(A), c’est-à-dire en niveau de puissance acoustique pondéré A.

1.3 Valeur d'émission spécifique au poste de travail

La valeur d'émission spécifique au poste de travail L_{pA} indique le niveau de pression acoustique obtenu au poste de travail attaché à une machine et résultant des émissions de cette dernière. Les effets additionnels (réflexions dans le local ou objets réfléchissants) susceptibles d'augmenter le niveau acoustique ne sont pas pris en compte.

La valeur d'émission spécifique au poste de travail ne fournit donc qu'une information sur le rayonnement sonore dans une direction donnée, à savoir vers le poste de travail. Il est tout à fait possible qu'une machine très bruyante, diffusant beaucoup de bruit, produise une valeur d'émission spécifique basse lorsque le rayonnement du bruit est atténué dans la direction du poste de travail par des mesures particulières, telles que la pose d'un écran acoustique (fig. 2).

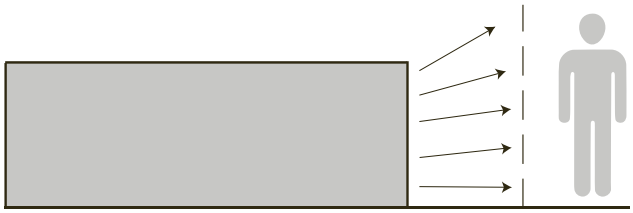


Fig. 2 Valeur d'émission spécifique au poste de travail représentative du rayonnement sonore perçu au poste de travail.

La valeur d'émission spécifique au poste de travail d'une machine ou d'une installation est une caractéristique importante, car les indications qui doivent être données conformément à l'obligation de déclaration UE en dépendent (voir ch. 2.1).

Les différentes normes emploient aujourd'hui le terme un peu lourd de «niveau de pression acoustique d'émission au poste de travail» au lieu de celui de «valeur d'émission au poste de travail», mais l'un et l'autre signifient en réalité exactement la même chose. Tout comme la série de normes EN ISO 3741 à 3746, celle parue sous le titre de «Bruit émis par les machines et équipements au poste de travail» décrit également des méthodes de détermination du niveau de pression acoustique d'émission. Celles-ci ne sont pas traitées dans cette publication, mais nous en indiquons les titres ci-dessous pour les personnes intéressées.

EN ISO 11200:
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

EN ISO 11202:
Détermination des niveaux de pression acoustique d'émission au poste de travail et en d'autres positions spécifiées en appliquant des corrections d'environnement approximatives

EN ISO 11203:
Détermination des niveaux de pression acoustique d'émission au poste de travail et en d'autres positions spécifiées à partir du niveau de puissance acoustique

EN ISO 11204:
Détermination des niveaux de pression acoustique d'émission au poste de travail et en d'autres positions spécifiées en appliquant des corrections d'environnement exactes

2 Déclaration de bruit selon les prescriptions suisses et européennes

2.1 Obligation de déclaration pour les fournisseurs de machines

Les installations et appareils techniques sont soumis à une obligation de déclaration de bruit depuis le 1er janvier 1993. Selon la directive 2006/42/CE du 9 juin 2006, ch. 1.7.4.2.u, en vigueur depuis le 1er janvier 2010 (directive «Machines»), les valeurs d'émission acoustique ci-dessous doivent être indiquées dans les notices d'instructions.

Tableau 1
Valeurs d'émission acoustique selon la directive «Machines» de l'UE. Les niveaux d'émission acoustique au poste de travail L_{pA} ne tiennent pas compte des bruits de fond et des influences des locaux (composantes réfléchies), mais ils peuvent faire l'objet de certaines adaptations pour les besoins de la précision des mesures. L_{WA}: niveau de puissance acoustique.

Valeur d'émission spécifique au poste de travail L_{pA} 2006/42/CE du 9 juin 2006 (en vigueur depuis le 1.1.2010)	**Indication(s) obligatoire(s)**
< 70 dB(A)	L_{pA} < 70 dB(A) ou L_{pA} = … dB(A)
71 – 80 dB(A)	L_{pA} = … dB(A)
> 80 dB(A)	L_{pA} = … dB(A) L_{WA} = … dB(A)

Lorsque le poste de travail ne peut pas être défini, le niveau d'émission doit être mesuré à 1 m de la surface de la machine et à une hauteur de 1,55 m au-dessus du sol ou de la plateforme d'accès.

Si la valeur maximale du niveau instantané de pression acoustique pondéré C excède 130 dB au poste de travail concerné, cette valeur d'émission doit être indiquée en sus.

Le droit international est transposé en Suisse par le biais de la loi fédérale sur la sécurité des produits et de l'ordonnance sur les machines. La publicité et la vente de machines ne sont autorisées en Suisse que si elles sont conformes aux exigences essentielles de santé et de sécurité de la directive UE sur les machines. Ces machines peuvent aussi être mises en circulation dans l'UE sans aucune modification.

Les matériels destinés à être utilisés en plein air sont soumis à des prescriptions spéciales (voir ch. 2.2).

Sont exclus du champ d'application de la directive «Machines» européenne:

a) les composants de sécurité destinés à être utilisés comme pièces de rechange pour remplacer des composants identiques et fournis par le fabricant de la machine d'origine;
b) les matériels spécifiques pour fêtes foraines et/ou parcs d'attraction;
c) les machines spécialement conçues ou mises en service en vue d'un usage nucléaire et dont la défaillance peut engendrer une émission de radioactivité;
d) les armes, y compris les armes à feu;
e) les moyens de transport suivants:
   – les tracteurs agricoles ou forestiers pour les risques visés par la directive 2003/37/CE, à l'exclusion des machines montées sur ces véhicules, les véhicules à moteur et leurs remorques visés par la directive 70/156/CEE du Conseil du 6 février 1970 concernant le rapprochement des législations des États membres relatives à la réception des véhicules à moteur et de leurs remorques (1), à l'exclusion des machines montées sur ces véhicules, les véhicules visés par la directive 2002/24/CE du Parlement européen et du Conseil du 18 mars 2002 relative à la réception des véhicules à moteur à deux ou trois roues (2), à l'exclusion des machines montées sur ces véhicules,
   – les véhicules à moteur destinés exclusivement à la compétition, et
   – les moyens de transport par air, par eau et par réseaux ferroviaires, à l'exclusion des machines montées sur ces moyens de transport;
f) les bateaux pour la navigation maritime et les unités mobiles off-shore ainsi que les machines installées à bord de ces bateaux et/ou unités;
g) les machines spécialement conçues et construites à des fins militaires ou de maintien de l'ordre;
h) les machines spécialement conçues et construites à des fins de recherche pour une utilisation temporaire en laboratoire;
i) les ascenseurs équipant les puits de mine;
j) les machines prévues pour déplacer des artistes pendant des représentations artistiques;

k) les produits électriques et électroniques ci-après, dans la mesure où ils sont visés par la directive 73/23/CEE du Conseil du 19 février 1973 concernant le rapprochement des législations des États membres relatives au matériel électrique destiné à être employé dans certaines limites de tension (3):
   – appareils électroménagers à usage domestique,
   – équipements audio et vidéo,
   – équipements informatiques,
   – machines de bureau courantes,
   – mécanismes de connexion et de contrôle basse tension,
   – moteurs électriques;

l) les équipements électriques à haute tension suivants:
   – appareillages de connexion et de commande,
   – transformateurs.*)

2.2 Émissions sonores des matériels destinés à être utilisés en plein air

L'ordonnance du DETEC (Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication) relative aux émissions sonores des matériels destinés à être utilisés en plein air (ordonnance sur le bruit des machines, OBMa) est en vigueur depuis le 1er juillet 2007.

Cette ordonnance basée sur le droit européen, également appelée directive sur les infrastructures (2000/14/CE), définit la restriction préventive, le marquage et le contrôle ultérieur des émissions sonores des appareils et machines mis en circulation. Le champ d'application et les valeurs d'émissions sont indiqués dans l'annexe 1 de l'OBMa (tableau 2).

Tableau 2
Champ d'application de l'ordonnance du DETEC relative aux émissions sonores des matériels destinés à être utilisés en plein air (ordonnance sur le bruit des machines, OBMa).

N°*)	Matériel
03	Monte-matériaux à moteur à combustion interne
08	Engins de compactage de type rouleaux compacteurs vibrants et non vibrants, plaques vibrantes et pilonneuses vibrantes
09	Motocompresseur (<350 kW)
10	Brise-béton et marteaux-piqueurs à main
12	Treuils de chantier à combustion interne
16	Bouteurs (<500 kW)
18	Tombereaux (<500 kW)
20	Pelles hydrauliques ou à câbles (<500 kW)
21	Chargeuses-pelleteuses (<500 kW)
23	Niveleuses (<500 kW)
29	Groupes hydrauliques
31	Compacteurs de remblais et de déchets à godet, de type chargeuse (<500 kW)
32	Tondeuses à gazon, à l'exclusion: – des matériels agricoles et forestiers – des dispositifs multi-usages dont le principal élément motorisé possède une puissance installée supérieure à 20 kW
33	Coupe-gazon, coupe-bordures à moteur électrique
36	Chariots élévateurs en porte-à-faux à moteur à combustion interne
36	Chariots tous terrains (chariots sur pneumatiques destinés principalement à être utilisés sur un terrain naturel brut, ou sur un terrain accidenté, par exemple un chantier de construction)
37	Chargeuses (<500 kW)
38	Grues mobiles
40	Motobineuses, motoculteurs
41	Finisseurs (à l'exception des finisseurs équipés d'une poutre lisseuse à forte capacité de compactage)
45	Groupes électrogènes de puissance (<400 kW)
53	Grues à tour
57	Groupes électrogènes de soudage

***)** Les numéros des matériels sont les mêmes que ceux utilisés dans la directive 2000/14/CE.

Par la déclaration de conformité, le fabricant ou son représentant établi en Suisse doit prouver le niveau de puissance acoustique mesuré et garanti (art. 8). La procédure d'évaluation de la conformité est décrite en détail dans l'annexe 2 de l'OBMa.

*) Source: Directive «Machines» 2006/42/CE

2.3 Obligation d'information

Conformément à l'art. 3, par. 1c de la directive 2003/10/CE, les travailleurs exposés à des niveaux sonores L_{EX} de 80 dB(A) ou supérieurs doivent disposer d'informations concrètes concernant le bruit (informations sur les équipements de protection individuelle et le comportement à adopter en cas de travaux dans des environnements bruyants). Cette obligation d'information s'applique également aux fournisseurs de machines et autres installations techniques.

2.4 Mesurage du bruit, laboratoires d'essais (directive 2006/42/CE)

Les procédures d'attestation de conformité varient en fonction du type de machine considéré.

- Pour les machines non mentionnées à l'annexe IV de la directive «Machines», le fabricant peut procéder à des mesures du bruit et signer la déclaration de conformité CE. Les procès-verbaux de mesure indiquant la méthode utilisée doivent être disponibles chez le fabricant.
- Pour les machines mentionnées à l'annexe IV de la directive «Machines» (machines pour le travail du bois, presses, machines de moulage des plastiques et du caoutchouc par injection, pistolets de scellement à charge propulsive, etc.), l'examen de type peut faire partie, le cas échéant, de la procédure d'évaluation de la conformité. L'organisme notifié qui effectue la procédure d'examen de type définit les essais nécessaires pour démontrer la conformité de la machine. Comme l'organisme notifié est responsable de l'évaluation correcte de la machine, il exigera généralement qu'un laboratoire d'essai accrédité réalise la mesure des émissions sonores de la machine.
- En tant qu'organisme de contrôle accrédité pour le mesurage des émissions sonores des appareils et des machines, la Suva effectue également des mesures pour la déclaration de bruit. Les mesures dépassant le cadre du mandat de prévention de la Suva sont facturées au tarif SIA.

Indépendamment des exigences à satisfaire dans les cas particuliers, il est recommandé de toujours déterminer la valeur d'émission spécifique au poste de travail et d'acquérir suffisamment de connaissances sur ces deux paramètres pour la construction de machines. C'est la seule manière d'être en mesure de réagir aux exigences du marché dans ce domaine et de maîtriser les aspects acoustiques.

3 Niveau de pression acoustique et niveau de puissance acoustique, notions de base et définitions

3.1 Généralités

Pour faciliter la compréhension du sujet, ce chapitre décrit brièvement les notions de puissance acoustique et de niveau de puissance acoustique. Cela implique toutefois la connaissance de la pression acoustique et du niveau de pression acoustique.

3.2 Pression acoustique

La pression acoustique p est la mesure des fluctuations de la pression d'ondes acoustiques se superposant à la pression atmosphérique. Elle s'exprime en valeur efficace (valeur quadratique moyenne), en pascals (1 Pa = 1 N/m²).

3.3 Niveau de pression acoustique

Le niveau de pression acoustique L_p est le rapport logarithmique entre la pression acoustique mesurée p_{eff} et une pression acoustique de référence p_0. Il est exprimé en décibels:

$$L_p = 10 \lg \frac{p_{eff}^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p_{eff}}{p_0} \text{ [dB]} \qquad \textbf{[EQ 1]}$$

p_0 est définie par $2 \cdot 10^{-5}$ N/m² (ou 20 µPa).

Le niveau de pression acoustique est souvent appelé «niveau acoustique».

Dans ce contexte, on utilise aussi la notion d'indice d'efficacité acoustique. Celui-ci se calcule, comme tout autre coefficient d'efficacité, d'après le rapport entre la puissance utilisée et la puissance utile. Exemple: 100 dB(A) correspond à une puissance acoustique d'environ 0,1 watt. En admettant qu'il s'agisse d'un son émis en continu par un haut-parleur, il faudrait un amplificateur d'une puissance électrique minimale de 100 watts. Cela signifie qu'il faut donc 1000 fois la puissance ou, en d'autres termes: le taux de rendement acoustique est de 1 ‰.

3.4 Puissance acoustique

L'énergie rayonnée par une source sonore de puissance W produit, sur une surface enveloppante fictive S, une intensité I dont la moyenne égale W/S. Dans la majorité des cas, il est possible de calculer l'intensité avec suffisamment de précision à partir de p_{eff}*):

$$I = \frac{p_{eff}^2}{\rho \cdot c} \qquad [W/m^2] \qquad \textbf{[EQ 2]}$$

ρ = densité de l'air (~ 1,2 kg/m³)
c = vitesse du son (~ 340 m/s)
ρ · c = 410 Ns/m³

D'où la puissance acoustique

$$W = \frac{p_{eff}^2 \cdot S}{\rho \cdot c} = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot p_{eff}^2 \cdot S \text{ [W]} \qquad \textbf{[EQ 3]}$$

La puissance acoustique est une grandeur spécifique de la source sonore, comparable à la puissance électrique, mécanique ou thermique. La puissance acoustique ne diminue pas à mesure qu'augmente la distance, mais elle se répartit sur une surface toujours plus grande.

3.5 Niveau de puissance acoustique

Le niveau de puissance acoustique L_W est la valeur logarithmique de toute la puissance acoustique rayonnée W d'une source sonore:

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_O} \quad [dB] \qquad \textbf{[EQ 4]}$$

W_0 a pour définition 10^{-12} W (ou 1 pW, puissance acoustique de référence). Si toute la puissance acoustique se répartit sur une surface de 1 m² (p. ex. sur une surface hémisphérique de rayon r = 0,4 m), le niveau de puissance acoustique et le niveau de pression acoustique sont numériquement égaux. Si le niveau de puissance acoustique est exprimé en dB(A), les deux notations suivantes sont admissibles:

L_{WA} en dB ou L_W en dB(A)

3.6 Comparaison entre niveau de pression acoustique et niveau de puissance acoustique

Chaque source sonore a une certaine puissance acoustique. Or, celle-ci peut aussi être indiquée à l'aide du niveau de pression acoustique. À cet effet, il est nécessaire de connaître en outre les grandeurs suivantes, à des fins de comparaison et de reproductibilité de la valeur (conditions de propagation):

1. Distance entre la source sonore et le point de mesure
2. Grandeur du local et emplacement de la source sonore dans le local
3. Propriétés acoustiques du local (prise en compte de la réverbération à l'aide du temps de réverbération)

*) Des appareils de mesure spéciaux peuvent calculer directement l'intensité acoustique d'une source sonore et en déterminer la puissance acoustique. Ce procédé est particulièrement approprié pour le repérage des sources acoustiques et en présence de niveaux élevés de bruit étranger.

Lorsque toutes ces données sont connues, il est alors possible de travailler avec le niveau de pression acoustique à des fins de comparaison (p. ex. conversion pour des conditions particulières du local). En revanche, le niveau de puissance acoustique en tant que grandeur typique de la source n'est pas tributaire des conditions générales énumérées et se suffit à lui-même comme information. Toutefois, lorsque l'on veut calculer le niveau de pression acoustique à partir du niveau de puissance acoustique, il est nécessaire de connaître les conditions de propagation (p. ex. lors de la conversion du niveau de puissance acoustique tel qu'indiqué par le fabricant d'une machine en niveau de pression acoustique au poste de travail).

> Le niveau de puissance acoustique est une grandeur indépendante des influences du local et de l'environnement.

Dans la pratique, la relation suivante est importante:

> Le niveau de puissance acoustique d'une source sonore technique, mesuré à une distance de 1 m, est généralement de 10 à 15 dB supérieur au niveau de pression acoustique.

Pour l'illustrer, quelques valeurs indicatives de niveaux de puissance et de pression acoustiques sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3
Comparaison entre niveau de pression acoustique et niveau de puissance acoustique.

Source sonore	Pression acoustique		Puissance acoustique	
	d [m]	L_p [dB(A)]	W [W]	L_W [dB(A)]
Tic-tac d'une montre	1	20	10^{-9}	30
Conversation à voix basse	1	50	10^{-6}	60
Conversation à voix haute	1	70	10^{-4}	80
Radio bruyante dans un appartement	1	80	10^{-3}	90
Klaxon d'une automobile	10	90	1	120
Tambour	1	100	0,1	110
Tronçonneuse à essence	0,5	105	0,4	115
Décollage FA-18	50	130	10^5	170
Décollage Ariane 5	1000	130	$4 \cdot 10^7$	195

Le niveau de puissance acoustique ne peut normalement pas être mesuré directement, car cette mesure nécessite des instruments coûteux (voir ch. 3.8). Les procédés de mesure présentés dans cette brochure se limitent aux méthodes faisant appel aux mesures du niveau de pression acoustique.

3.7 Addition de niveaux acoustiques

Les procédés présentés ci-après peuvent nécessiter l'addition de plusieurs niveaux acoustiques (addition de puissances):

$$L_{total} = 10 \lg \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \ldots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \quad [\text{dB ou dB(A)}] \qquad \textbf{[EQ 5]}$$

$L_1 \ldots L_n$ = niveaux acoustiques à additionner

Si n machines de même niveau acoustique L se trouvent dans un local, le niveau acoustique total, lorsque toutes les machines sont en service, s'élève théoriquement à:

$$L_{total} = L + 10 \lg n \quad [\text{dB ou dB(A)}] \qquad \textbf{[EQ 6]}$$

Cette relation n'est applicable dans la pratique que sous certaines réserves, étant donné que l'influence du local et la disposition des sources sonores jouent un rôle important.

3.8 Procédé de mesure d'intensité

Comme nous l'avons déjà mentionné, certains procédés de mesure spéciaux permettent de calculer directement le niveau de puissance acoustique. On utilise à cet effet le procédé de mesure d'intensité, que nous ne décrirons pas ici de manière plus détaillée. Les utilisateurs trouveront des informations utiles à cet égard dans différentes normes nationales et internationales, notamment:

EN ISO 9614-1:
Détermination par intensimétrie des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit; Partie 1: Mesurages par points

EN ISO 9614-2:
Détermination par intensimétrie des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit; Partie 2: Mesurages par balayage

EN ISO 9614-3:
Détermination par intensimétrie des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit; Partie 3: Méthode de précision pour mesurage par balayage

IEC 61043:
Électroacoustique. Instruments pour la mesure de l'intensité acoustique. Mesure au moyen d'une paire de microphones de pression (traduction en allemand: SN EN 61043)

4 Procédé de mesure sur surface enveloppante: conditions générales

4.1 Bases

En Suisse, on travaillera d'une manière générale selon les normes EN ISO. Cette recommandation est purement pratique: la Suisse étant membre à part entière du Comité européen de normalisation (CEN), les normes européennes s'appliquent également sur le territoire helvétique.

Les comités responsables au sein de la SNV (Association Suisse de Normalisation) ayant recommandé l'application de la plupart de ces normes en Suisse, elles ont valeur de normes suisses et portent la mention SN devant le numéro de la norme EN (p. ex. SN EN ISO xxxx).

Ces normes définissent de façon détaillée le procédé de mesure sur surface enveloppante en vue de la détermination du niveau de puissance acoustique selon différentes classes de précision (EN ISO 3741 à EN ISO 3746).

4.2 Objet et domaine d'application

Le procédé de mesure sur surface enveloppante défini dans ces normes comporte deux points principaux:

1. Mesure du niveau de pression acoustique sur une surface enveloppant la source sonore
2. Calcul du niveau de puissance acoustique produit par cette source

À cet effet, les mesures peuvent être prises dans des locaux clos ou à l'air libre (avec un ou plusieurs plans réfléchissants).

Les conditions générales des mesures ainsi que les grandeurs définissables sont indiquées dans le tableau 4.

4.3 Normes de référence

Le procédé de mesure sur surface enveloppante selon EN ISO repose sur toute une série de normes dans le domaine acoustique.

EN ISO 354:
Mesurage de l'absorption acoustique en salle réverbérante

EN ISO 3741:
Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique. Méthodes de laboratoire en salles d'essais réverbérantes

EN ISO 3743-1:
Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique. Méthodes d'expertise en champ réverbéré applicables aux petites sources transportables; Partie 1: Méthode par comparaison en salle d'essai à parois dures

EN ISO 3743-2:
Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique. Méthodes d'expertise en champ réverbéré applicables aux petites sources transportables; Partie 2: Méthodes en salle d'essai réverbérante spéciale

EN ISO 3744:
Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique. Méthodes d'expertise pour des conditions approchant celles du champ libre sur plan réfléchissant

EN ISO 3745:
Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique. Méthodes de laboratoire pour les salles anéchoïques et les salles semi-anéchoïques

EN ISO 3746:
Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie 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 3747:
Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique. Méthode d'expertise et de contrôle pour une utilisation in situ en environnement réverbérant

EN ISO 4871:
Déclaration et vérification des valeurs d'émission sonore des machines et équipements

EN ISO 27574-1:
Méthodes statistiques pour la détermination et le contrôle des valeurs déclarées d'émission acoustique des machines et équipements; Partie 1: généralités et définitions

EN ISO 27574-2:
Méthodes statistiques pour la détermination et le contrôle des valeurs déclarées d'émission acoustique des machines et équipements; Partie 2: méthodes pour valeurs déclarées de machines individuelles

EN ISO 27574-3:
Méthodes statistiques pour la détermination et le contrôle des valeurs déclarées d'émission acoustique des machines et équipements; Partie 3: méthode simplifiée (transitoire) pour valeurs déclarées de lots de machines

EN ISO 27574-4:
Méthodes statistiques pour la détermination et le contrôle des valeurs déclarées d'émission acoustique des machines et équipements; Partie 4: méthodes pour valeurs déclarées de lots de machines

ISO 9296:
Valeurs déclarées d'émission acoustique des équipements liés aux technologies de l'information et aux télécommunications

Validité des normes
Pour l'exécution d'une mesure, c'est toujours la norme dont la date de parution est la plus récente qui fait foi. Les projets ISO/DIS ne sont pas encore contraignants, car soit le processus d'homologation n'a pas été achevé, soit la norme n'est pas imprimée. Les projets peuvent toutefois être appliqués avec précaution, en apportant les réserves correspondantes.

4.4 Classes de précision

En ce qui concerne l'application pratique dans l'industrie, seules les classes de précision 2 et 3 retiendront notre attention, la classe 1 impliquant des mesures dans un local à faible réflexion. L'ISO définit:

- la mesure selon la classe 2 comme une expertise (EN ISO 3744)
- la mesure selon la classe 3 comme un contrôle (EN ISO 3746)

Les conditions générales propres à ces deux classes sont indiquées dans le tableau 4. L'affectation à une classe de précision donnée ne dépend pas tant de la volonté de l'ingénieur que des conditions acoustiques du local où l'on effectue la mesure (en supposant que les instruments de mesure satisfont les exigences correspondantes).

Tableau 4
Conditions générales pour la détermination du niveau de puissance acoustique des sources sonores selon le procédé de mesure sur surface enveloppante par l'intermédiaire d'une surface réfléchissante pour classes de précision 2 et 3.

Caractéristiques de délimitation	**Classe de précision 2** EN ISO 3744: 2010	**Classe de précision 3** EN ISO 3746: 2010
Classification de la méthode	Expertise	Contrôle
Environnement de mesure	En plein air ou dans un local	
Effet de l'environnement[1)]	$K_2 \leq 4$ dB	$K_2 \leq 7$ dB
Volume de la source sonore	Aucune limitation, si ce n'est celle que représente le milieu environnant	
Nature du bruit	Toutes natures (à large bande, à bande étroite, tonal, stationnaire, non stationnaire, en impulsions)	
Limitation des bruits étrangers[1)]	$\Delta L \geq 6$ dB $K_1 \leq 1{,}3$ dB	$\Delta L \geq 3$ dB $K_1 \leq 3$ dB
Nombre de points de mesure[2)]	≥ 9	≥ 4
Instruments de mesure	Voir tableau 5	
Précision du procédé (comparaison d'écart-type σ_R)	$\sigma_R \leq 1{,}5$ dB	$\sigma_R \leq 3$ dB lorsqu'un son pur est perceptible: $\sigma_R \leq 4$ dB

[1)] Les valeurs K_1 et K_2 indiquées dans le tableau (voir ch. 4.5) doivent être satisfaites pour la détermination du spectre de puissance du bruit dans chaque bande de fréquence considérée. Pour la détermination du niveau de puissance acoustique pondéré A, les mêmes critères s'appliquent à K_{1A} et K_{2A}.

[2)] Dans certaines circonstances, il est possible de travailler avec moins de microphones.

Si l'on compare les caractères de délimitation du tableau 4, il apparaît qu'en pratique seules des conditions extrêmement favorables permettent d'effectuer des mesures satisfaisant les exigences de la classe 2. L'affectation à une classe donnée est tributaire, d'une part, de l'effet de l'environnement (K_2) et, d'autre part, du nombre de microphones. Les machines et les installations fixes, lourdes ou très volumineuses ne peuvent pas aisément être amenées dans des locaux offrant des conditions de mesure correspondant à la classe 2.

Pour des raisons pratiques, il sera question ci-après exclusivement de mesures selon ISO 3746, classe de précision 3.

Pour une mesure selon EN ISO 3744, classe de précision 2, il faudra acquérir la norme correspondante à titre de document de base ou faire appel à l'EMPA ou à l'une des nombreuses entreprises privées dotées des équipements de mesure nécessaires pour effectuer les mesures.

4.5 Terminologie

Les notions utilisées en relation avec les procédés de mesure sur surface enveloppante sont les suivantes:

- **Niveau de pression acoustique L_p** en dB
  ou avec pondération A, L_{pA} en dB.
- **Niveau de pression acoustique continu équivalent L_{eq}** en dB(A)
  Niveau de pression acoustique d'un son stationnaire continu qui, durant un intervalle T, possède la même valeur quadratique moyenne de pression acoustique que le bruit considéré qui fluctue dans le temps.
- **Durée de mesure** T en s, min ou h
  Partie de la période ou d'un cycle de fonctionnement durant laquelle on détermine le niveau de pression acoustique continu équivalent.
- **Correction du bruit de fond** ou **bruit étranger K_1** en dB
  Facteur de correction prenant en compte l'effet des bruits étrangers sur le niveau de pression acoustique surfacique. K_1 varie en fonction de la fréquence. Avec une pondération A, ce facteur devient K_{1A}. Les bruits étrangers peuvent être formés de bruits aériens, de bruits solidiens ou encore de bruits électriques des instruments de mesure.
- **Corrections de l'environnement K_2** en dB
  Facteur de correction prenant en compte l'effet du bruit réfléchi ou absorbé sur le niveau de pression acoustique surfacique. K_2 varie en fonction de la fréquence. Avec une pondération A, ce facteur devient K_{2A}. Pour la détermination du niveau de pression acoustique d'émission au poste de travail (voir chap. 1.3), on parle de correction de l'environnement K_3. Il s'agit de la correction de l'environnement rapportée à un point.

- **Parallélépipède de référence**
  C'est le plus petit parallélépipède entourant la machine et constituant la base d'établissement de la surface de mesure. La surface de ce parallélépipède n'a aucun impact sur le calcul de L_W.
- **Surface de mesure S** en m^2
  Surface de mesure fictive entourant la source mesurée et sur laquelle les microphones sont disposés. La surface de mesure est délimitée par un ou plusieurs plans réfléchissants.
- **Distance de mesure d** en m
  Distance séparant le parallélépipède de référence et la surface de mesure en forme de parallélépipède.
- **Rayon de mesure r** en m
  Rayon de la surface de mesure hémisphérique.
- **Niveau de pression surfacique L_{pA}** en dB
  Niveau énergétique moyen de la pression acoustique relevée par tous les microphones disposés sur la surface de mesure, durant un intervalle déterminé, compte tenu de la correction des bruits étrangers $K_{1\ et}$ de la correction de l'environnement K_2.
- **Niveau de puissance acoustique L_W** en dB ou, avec une pondération A, L_{WA} en dB.
- **Plage de fréquence considérée**
  En règle générale, la plage de fréquence considérée contient les tiers d'octave dont les fréquences centrales sont comprises entre 100 et 10000 Hz. Dans des cas particuliers, cette plage peut être étendue vers le haut ou le bas.

4.6 Instruments de mesure

Les instruments de mesure doivent être conformes aux normes suivantes:

Tableau 5
Normalisation des instruments de mesure.

Instrument de mesure	Norme	Classe de précision
Sonomètre	IEC 61672-1	Classe 2
Filtre tiers d'octave et octave	IEC 61260	Aucune exigence
Calibreurs acoustiques	IEC 60942	Classe 1

Avant chaque mesurage, la chaîne de mesure doit être étalonnée au moyen d'une source sonore étalon (calibreur acoustique ou pistonphone, précision W ± 0,3 dB, à l'aide d'une ou plusieurs fréquences entre 250 et 1000 Hz). La source sonore étalon et les instruments de mesure doivent être contrôlés tous les deux ans.

4.7 Incertitude de mesurage

Il n'est pas possible d'indiquer une marge de tolérance uniforme par rapport au niveau de puissance acoustique. Pour l'indication quantitative de l'incertitude de mesure, la norme EN ISO 3746 recourt à l'écart-type σ_R (voir tableau 4).

L'écart-type implique que 66 % des mesures ou des calculs se situent à l'intérieur de la plage indiquée. Dans des conditions de mesure favorables, les écarts-types peuvent être inférieurs à ceux du tableau 4. Cela peut se produire lorsqu'on utilise des environnements et des appareils de mesure semblables ou identiques pour différentes sources sonores. Les codes d'essai acoustique spécifiques à certains types d'équipements particuliers se référant à la norme EN ISO 3746 peuvent présenter des écarts-types inférieurs à ceux indiqués lorsqu'il s'agit des résultats de mesures comparatives effectuées par différents laboratoires d'essais.

En indiquant cette valeur, le fabricant d'une machine garantit qu'un contrôle ultérieur (exécuté selon la norme correspondante) ne produira pas de valeur supérieure à celle indiquée, et cela avec une probabilité élevée. Le fabricant doit tenir compte dans ses indications de niveau sonore des incertitudes de mesures, inévitables même si le mesurage est effectué selon la norme. Il doit donc déclarer une valeur plus élevée que celle qu'il a déterminée par mesurage. En ajoutant à la valeur d'émission sonore mesurée un écart-type de 3 dB, par exemple, la reproductibilité (pourcentage de cas où les valeurs d'émission sont dépassées) tombe à 17 %.

Le résultat final (niveau de puissance acoustique pris comme valeur unique) n'est pas plus précis lorsque les mesures et les calculs ont plusieurs décimales. Comme le prescrit la norme, on se limitera donc à un seul chiffre après la virgule.

5 Conditions préalables de mesurage

5.1 Généralités

Les conditions d'installation et d'exploitation peuvent exercer une influence considérable sur la puissance acoustique émise par la source. Sur de grandes installations notamment, il convient de définir avec précision les éléments qui constituent la source à mesurer. Une délimitation précise peut s'avérer nécessaire lorsque l'on veut mesurer le bruit émis par une partie spécifique d'installation.

5.2 Position de la source

La source à mesurer doit être installée en une ou plusieurs positions en référence aux plans réfléchissants. On choisira à cet effet une position typique pour l'emploi courant. Lorsque plusieurs possibilités sont envisageables ou que les conditions typiques d'installation sont inconnues, des dispositions spéciales doivent être prises pour les mesures et consignées dans le rapport de mesure.

5.3 Fixation de la source

Il arrive fréquemment que la puissance acoustique émise dépende de la position ou du mode de fixation de la source. Lorsqu'un mode de fixation particulier a été défini pour l'appareil à examiner, les mesures doivent, si possible, être prises dans ces conditions. Les détails particuliers doivent également être consignés dans le rapport.

5.4 Dispositifs auxiliaires

Lors de l'exécution des mesures, il faut s'assurer que les lignes électriques, tuyauteries ou conduits d'air reliés à la source n'émettent pas de part importante de l'énergie acoustique dans la zone de mesurage. Les dispositifs auxiliaires doivent être placés en dehors du local de mesure, ou intégrés en tant qu'éléments constitutifs de la source considérée (groupes hydrauliques, convertisseurs, pompes, ventilateurs, etc.).

5.5 Machines portatives

Les machines portatives doivent être suspendues ou tenues à la main, de sorte que les sons solidiens ne puissent se transmettre à travers une fixation qui n'appartiendrait pas à l'objet d'examen. Au cas où la source nécessiterait une structure porteuse pour son fonctionnement, celle-ci doit être de petites dimensions et considérée comme partie intégrante de la source.

5.6 Appareils et machines fixés au sol ou contre un mur

Ces appareils doivent être placés sur un plan réfléchissant (réverbérant) (plancher, mur). Les appareils au sol, prévus exclusivement pour l'installation devant un mur, doivent être placés sur un plancher réverbérant et contre un mur réverbérant. Les appareils de table doivent être placés sur le sol, à une distance minimale de 1,5 m de chaque mur du local, sauf s'ils ont besoin pour fonctionner d'une table ou d'un support particulier. Dans un tel cas, l'appareil sera posé au centre de la table de mesure.

5.7 Conditions normales d'exploitation

Les conditions d'exploitation lors d'un mesurage devraient permettre d'enregistrer les bruits émis par une installation en conditions de service normal. En règle générale, il s'agit de l'exploitation sous pleine charge et à température normale. On peut se contenter d'un mesurage à vide quand le bruit ne dépend quasiment pas du régime d'exploitation ou que son influence est connue.

Lorsque le bruit à mesurer varie sensiblement en fonction de la séquence de travail, voire de la pièce usinée, les conditions correspondantes doivent être spécifiquement définies et indiquées dans le rapport de mesures.

L'ISO ne définit que les grandes lignes des conditions d'exploitation. Une ou plusieurs des conditions suivantes doivent être prises en compte lors des mesurages:

1 Dispositif sous la charge et dans les conditions de fonctionnement spécifiées
2 Dispositifs sous pleine charge (en cas de différence par rapport à 1)
3 Dispositif sans aucune charge (à vide)
4 Dispositif fonctionnant dans des conditions correspondant à une émission sonore maximale représentative d'une utilisation normale
5 Dispositif à plein régime dans des conditions prédéfinies
6 Dispositif sous charge simulée dans des conditions parfaitement définies
7 Dispositif dans les conditions de fonctionnement correspondant au cycle de travail caractéristique

Si on procède aux mesurages sous charge simulée, les conditions de fonctionnement doivent être définies de manière à produire des niveaux de puissance acoustique représentatifs de la source de bruit considérée.

5.8 Définition de conditions spéciales d'exploitation

Sous le chiffre 4.1, il a été mentionné que les normes ISO constituent la base de la présente publication. Il sera néanmoins question ci-après des normes DIN, très détaillées, et plus précisément des feuillets complémentaires à la norme DIN 45635 qui sont tous parus sous le titre «Geräuschmessung an Maschinen (Luftschallmessung; Hüllflächverfahren)» – Mesure du bruit de machines (mesure du son aérien; procédé de la surface enveloppante) (voir annexe 1). Si, pour le mesurage du bruit émis par une machine, des conditions spéciales d'exploitation sont prescrites dans la norme DIN, il est permis de s'y référer pour l'exécution du mesurage. Dans un tel cas, une mention correspondante devra être faite dans le rapport de mesures (p. ex. conditions d'exploitation selon DIN 45635, feuillet ...).

6 Surface de mesure

6.1 Généralités

Les positions des microphones se répartissent sur la surface de mesure S. Cette surface fictive enveloppe la source du bruit à une distance bien définie et reçoit toute la puissance acoustique rayonnée. Elle est délimitée par les plans réfléchissants du lieu où la machine a été installée (p. ex. le sol et les parois) ou entoure complètement la source sonore.

6.2 Sélection de la surface de mesure

Le parallélépipède de référence hypothétique (également désigné dans certaines normes par parallélépipède de référence) permet d'idéaliser les dimensions extérieures de la source de bruit. Certains éléments isolés qui ne contribuent pas sensiblement au rayonnement acoustique ne sont pas pris en considération. Pour les grosses machines, la surface de référence est établie uniquement en fonction de la source de bruit principale. La surface du parallélépipède de référence n'étant pas une grandeur de calcul, il n'est pas nécessaire de la décrire plus précisément. Elle sert de point de départ pour la détermination de la distance et de la surface de mesure.

La distance caractéristique d_0 représente la distance entre le centre du système de coordonnées et l'un des coins supérieurs du parallélépipède de référence (fig. 3 à 5). Elle peut se calculer pour trois cas différents:

Parallélépipède de référence sur un plan réfléchissant (fig. 3)

$$d_0 = \sqrt{(l_1/2)^2 + (l_2/2)^2 + l_3^2} \quad [m] \qquad \textbf{[EQ 7]}$$

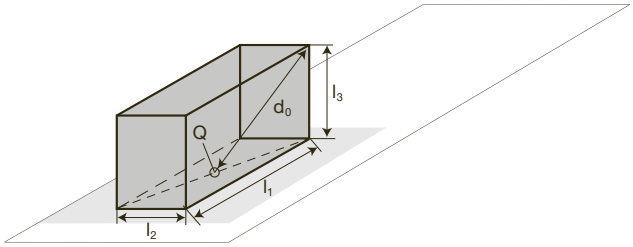


Fig. 3 Exemple pour un parallélépipède de référence sur un plan réfléchissant et distance caractéristique d_0 par rapport au centre du système de coordonnées.

Parallélépipède de référence sur deux plans réfléchissants (fig. 4)

$$d_0 = \sqrt{(l_1/2)^2 + l_2^2 + l_3^2} \quad [m] \qquad \textbf{[EQ 8]}$$

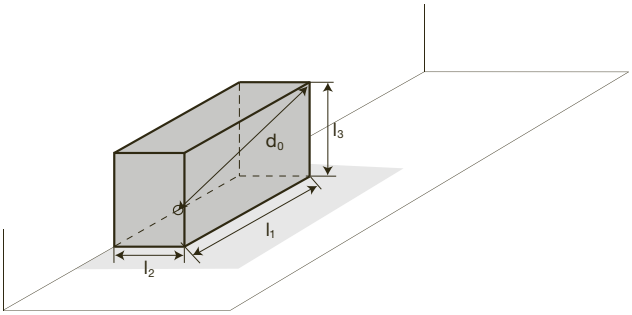


Fig. 4 Exemple pour un parallélépipède de référence sur deux plans réfléchissants et distance caractéristique d_0 par rapport au centre du système de coordonnées.

Parallélépipède de référence sur trois plans réfléchissants (fig. 5)

$$d_0 = \sqrt{(l_1^2 + l_2^2 + l_3^2} \quad [m] \qquad \textbf{[EQ 9]}$$

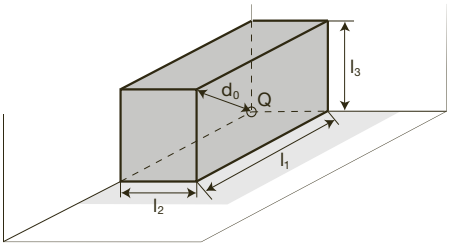


Fig. 5 Exemple pour un parallélépipède de référence sur trois plans réfléchissants et distance caractéristique d_0 par rapport au centre du système de coordonnées.

Les positions de la source considérée, de la surface de mesure et des microphones sont décrites au moyen d'un système de coordonnées dont les axes horizontaux x et y se trouvent sur la surface de base, parallèles à la largeur et à la longueur du parallélépipède de référence, et dont l'axe z passe par le centre géométrique du parallélépipède.

Pour l'exécution pratique d'un mesurage, il s'agit de sélectionner l'une de ces deux formes de surfaces de mesure:

1. Demi-sphère, quart de sphère ou huitième de sphère avec rayon r (rayon de mesure).
2. Parallélépipède dont les côtés sont parallèles à ceux du parallélépipède de référence et dont chaque côté se trouve à une distance d (distance de mesure) du côté le plus proche du parallélépipède de référence.

Pour les sources de bruit généralement installées ou mesurées dans des locaux ou dans un environnement présentant des conditions acoustiques défavorables (p. ex. contenant un grand nombre d'objets réfléchissants et un niveau élevé de bruit de fond), il est conseillé de choisir une courte distance de mesure et, de manière générale, une surface de mesure parallélépipédique.

Pour les sources de bruit généralement installées ou mesurées à l'air libre ou dans un espace ouvert présentant des conditions acoustiques satisfaisantes, il est souvent possible de choisir une distance de mesure supérieure. Dans ce cas, la surface de mesure hémisphérique doit être privilégiée.

Lors de l'exécution de mesurages d'une série de sources sonores analogues (p. ex. machines de type identique), mieux vaut utiliser la même surface de mesure.

6.3 Surface hémisphérique

6.3.1 Dimension de la surface hémisphérique

L'hémisphère doit être centré sur le milieu du système de coordonnées. Le rayon r de la surface hémisphérique doit être égal ou supérieur au double de la distance caractéristique d_0 selon le ch. 6.2, mais atteindre au moins 1 m. Pour les sources sonores de faible intensité, le rayon de mesure peut également se situer entre 0,5 m et 1 m.

Le rayon doit se situer entre 1 m et 16 m.

Certains de ces rayons peuvent être si importants que les conditions applicables à l'environnement ne sont plus respectées. Dans de tels cas, les mesures ne sont plus conformes aux normes et le rayon doit être réduit en conséquence.

6.3.2 Surface de mesure et positions des microphones

Si la source de bruit est placée sur un plan réfléchissant, la surface S de l'hémisphère est la suivante:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \qquad [m^2] \qquad \textbf{[EQ 10]}$$

r = rayon de la sphère [m]

Si la source de bruit se trouve devant deux ou trois plans réfléchissants, le positionnement des microphones doit s'effectuer d'après la norme correspondante. Les positions des microphones principaux peuvent être fixées d'après les fig. 6 et 7. Elles sont déterminées de telle sorte que des éléments de surface équivalents de l'hémisphère puissent être assignés à chaque point de mesure.

Dans certains cas, des positions de mesure supplémentaires sur la surface de mesure hémisphérique peuvent s'avérer nécessaires, notamment lorsque:

- la dispersion des niveaux de pression acoustique pondérés A sur les positions des microphones 4, 5, 6 et 10 (différence entre le niveau le plus haut et le niveau le plus bas) atteint plus du double du nombre des positions des microphones (soit 8 dans le cas présent)
- la source de bruit diffuse un bruit très directionnel, ou
- le bruit d'une source de grandes dimensions n'est diffusé que par une petite partie de celle-ci, p. ex. à travers une ouverture d'une machine protégée par une enceinte acoustique

Les points de mesure supplémentaires sont illustrés sur la fig. 7.

En alternative, il est possible de faire subir une rotation de 60° à la source de bruit examinée sur une demi-sphère lors de la mesure complémentaire, mais les microphones doivent demeurer dans leur position d'origine. Cette méthode permet de déterminer les positions des microphones supplémentaires.

Remarques:

- La numérotation des points de mesure correspond à celle de la norme EN ISO 3744.
- Les points de mesure 10 et 20 situés sur la partie supérieure sont identiques. Pour des raisons de sécurité, il est admissible de supprimer ces deux points en apportant une remarque correspondante dans le rapport de mesure.

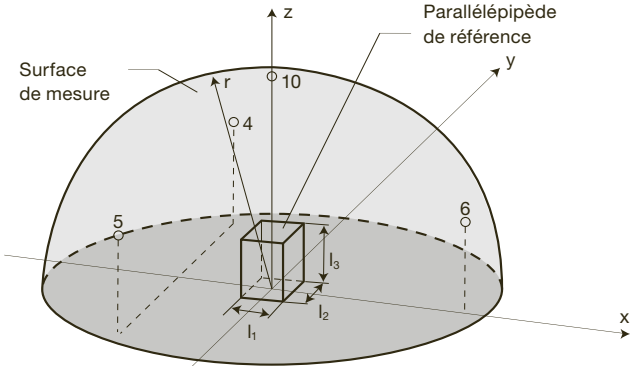
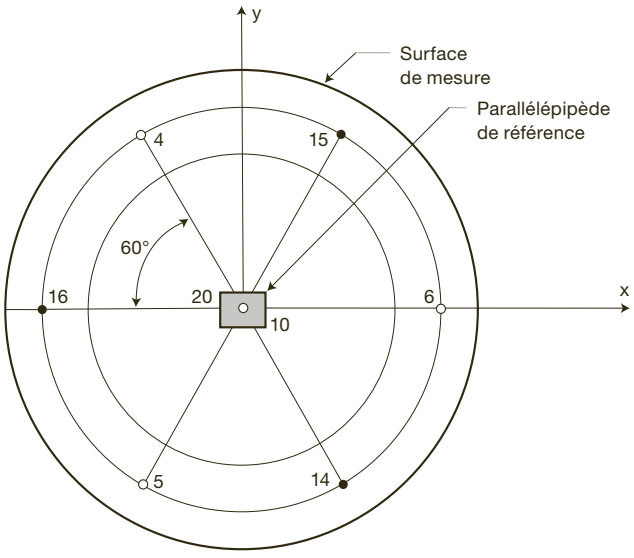


Fig. 6 Positions des microphones principaux 4, 5, 6 et 10 sur une surface de mesure hémisphérique (coordonnées: voir tableau 6).



○ Positions des microphones principaux
● Positions des microphones supplémentaires

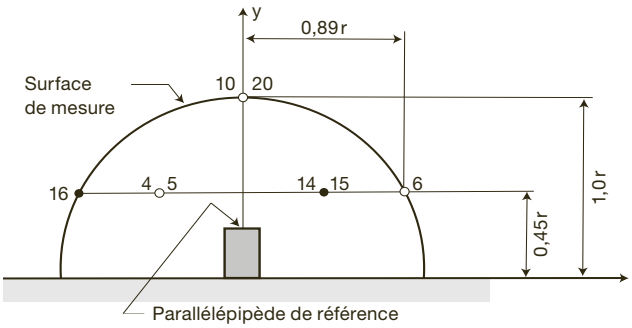


Fig. 7 Position de tous les microphones sur une surface de mesure hémisphérique (coordonnées: voir tableau 5). Ici, les points 14 à 16 et 20 sont des points de mesure supplémentaires.

Tableau 6
Coordonnées des points de mesure sur un hémisphère en fonction de la distance avec son centre (système de coordonnées orthogonales).

Point de mesure n°	$\frac{x}{r}$	$\frac{y}{r}$	$\frac{z}{r}$
4	−0,45	0,77	0,45
5	0,45	−0,77	0,45
6	0,89	0	0,45
10	0	0	1
14	0,45	−0,77	0,45
15	0,45	0,77	0,45
16	−0,89	0	0,45
20 (10)	0	0	1

6.4 Surface parallélépipédique

6.4.1 Dimension de la surface de mesure parallélépipédique

La distance de mesure d est la distance verticale entre le parallélépipède de référence et la surface de mesure. La distance de mesure est de préférence égale à 1 m. Cependant, elle ne doit en aucun cas être inférieure à 0,15 m. Elle ne peut dépasser 1 m que pour les sources sonores de grandes dimensions. La dimension de la surface de mesure est déterminée par la dimension du parallélépipède de référence et par la distance de mesure choisie.

La surface de mesure d'un parallélépipède peut être déterminée à partir des dimensions du parallélépipède de référence (l_1, l_2 et l_3, longueur, largeur et hauteur) et de la distance de mesure (d). Lorsque la source de bruit est placée sur un plan réfléchissant, la formule est la suivante:

$$S = 4\,(ab + bc + ca) \qquad [m^2] \qquad \textbf{[EQ 11]}$$

où:
$a = 0{,}5\,l_1 + d$
$b = 0{,}5\,l_2 + d$
$c = l_3 + d$

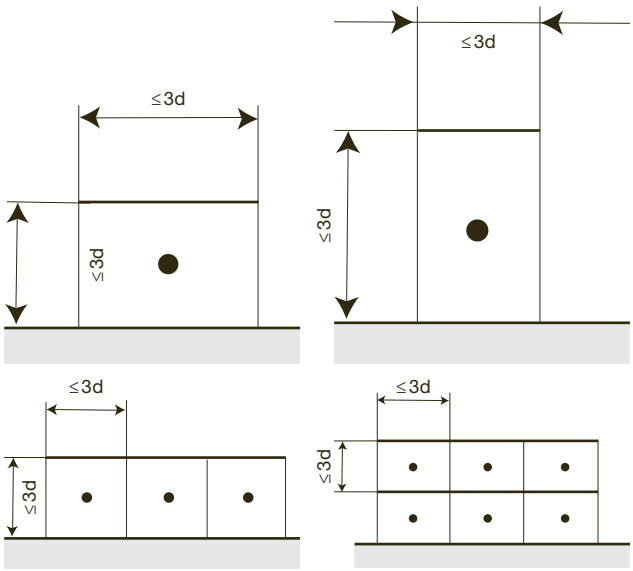


Fig. 8 Définition des positions des microphones. d = distance de mesure par rapport au parallélépipède de référence.

6.4.2 Surface de mesure et positions des microphones

Les positions des microphones se situent sur la surface de mesure considérée de superficie S, qui enveloppe la source sonore et dont les côtés sont parallèles à ceux du parallélépipède de référence.

La dimension de la surface de mesure dépend de la grandeur de la source sonore. Pour de petites sources, le nombre minimum de points de mesure est de cinq (fig. 9). Pour les plus grandes, on tient compte de chaque niveau de la surface de mesure et on la subdivise en surfaces partielles rectangulaires, dont le côté est égal à 3 d au maximum. Les positions des microphones se trouvent alors au centre des surfaces partielles correspondantes (fig. 8). La mesure du niveau de pression acoustique en des positions de microphones supplémentaires est nécessaire sur la surface de mesure parallélépipédique lorsque:

- la plage du niveau de pression acoustique mesurée par les positions des microphones principaux (c.-à-d. différence en dB entre les niveaux de pression acoustique minimum et maximum) excède une valeur correspondant à deux fois le nombre de points de mesure principaux, ou une dimension quelconque de la surface de mesure dépasse 3 d, ou
- la source de bruit émet un bruit très directionnel, ou
- le bruit d'une source de grandes dimensions n'est diffusé que par une petite partie de celle-ci, p. ex. à travers une ouverture d'une machine protégée par une enceinte acoustique

La disposition des points de mesure pour des machines particulièrement hautes, longues et grandes est représentée sur les fig. 10 à 13. Lorsque la source de bruit à mesurer se situe contre un mur ou dans le coin d'un local, la disposition des points de mesure présentée sur les fig. 14 et 15 peut être adoptée.

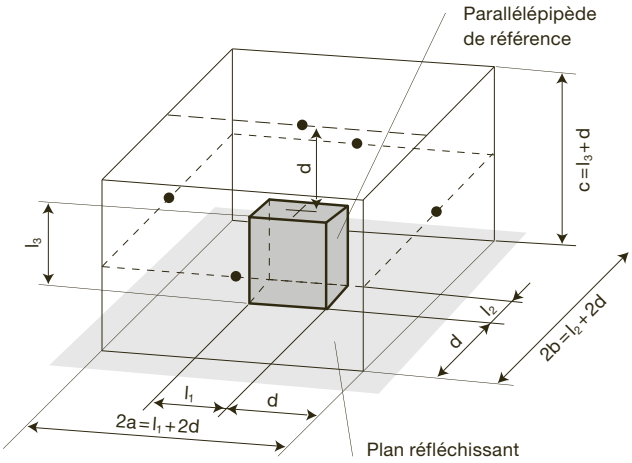


Fig. 9 Exemple de surface de mesure et de positions des microphones pour une petite source de bruit.

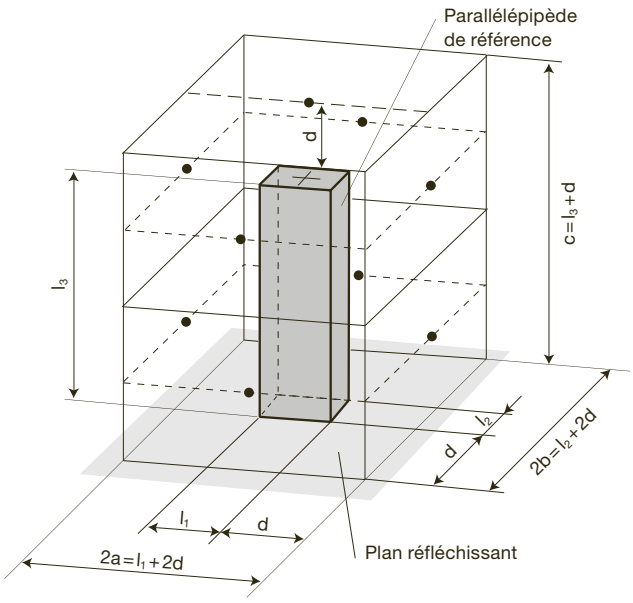


Fig. 10 Exemple de surface de mesure et de positions des microphones pour une machine haute à petite surface de base.

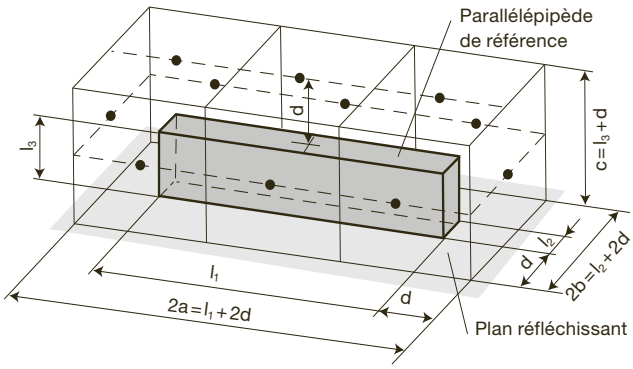


Fig. 11 Exemple de surface de mesure et de positions des microphones pour une machine longue.

6.5 Autres méthodes de sélection des positions des microphones

6.5.1 Positions supplémentaires

Dans certains cas particuliers, il peut s'avérer nécessaire de définir des positions de microphones supplémentaires. À cet effet, il faut déterminer les niveaux maximum et minimum de pression acoustique dans les bandes de fréquence considérées. Puisque l'adoption de points de mesure supplémentaires implique le choix d'éléments de surface de dimensions différentes, il faut utiliser la méthode décrite dans la norme EN ISO 3745 pour résoudre le problème.

6.5.2 Réduction du nombre de positions

Le nombre de positions des microphones peut être réduit lorsque, pour un type de machine donné, des études préalables ont démontré que le niveau de pression acoustique de surface obtenu au moyen d'un nombre réduit de microphones ne diverge pas de plus de 1 dB par rapport à celui qui a été déterminé avec l'ensemble des positions des microphones. Dans tous les cas, leur nombre ne doit pas être inférieur à cinq.

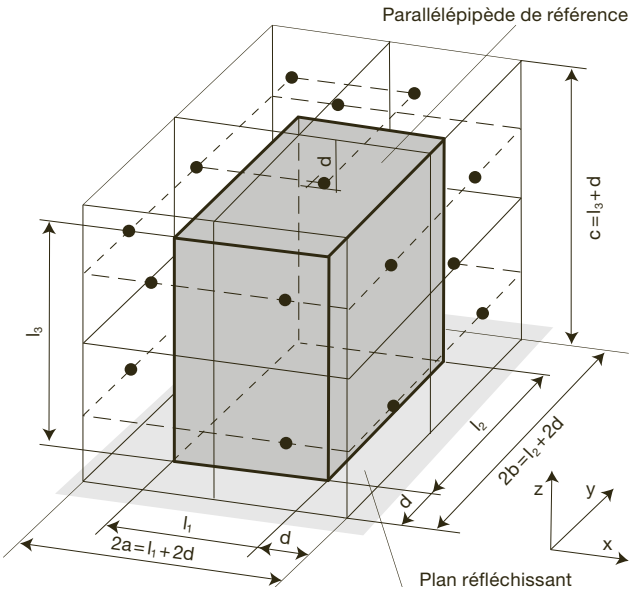


Fig. 12 Exemple de surface de mesure et de positions des microphones pour une machine moyenne.

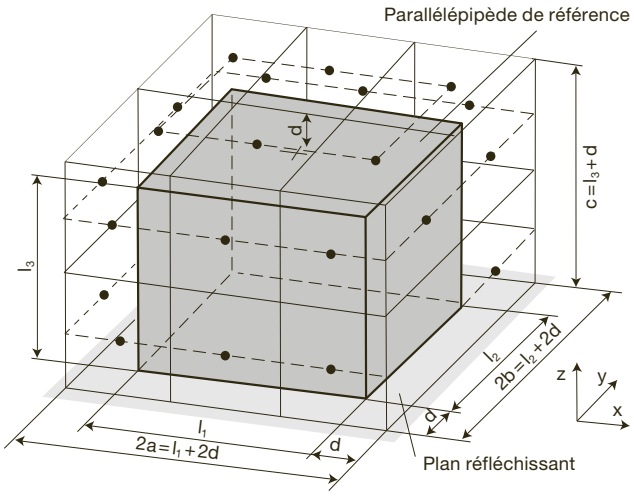


Fig. 13 Exemple de surface de mesure et de positions des microphones pour une grande machine.

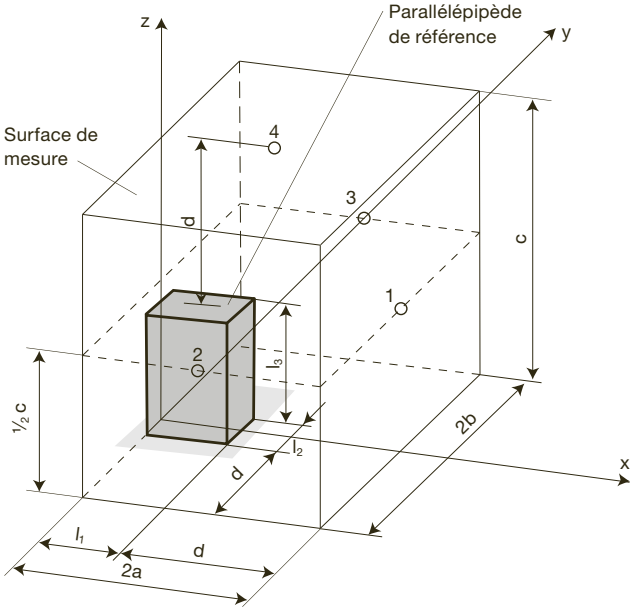


Fig. 14 Surface de mesure parallélépipédique avec quatre positions de microphones pour une source de bruit au sol et devant un mur [S = 2(2ac + 2ab + bc)].

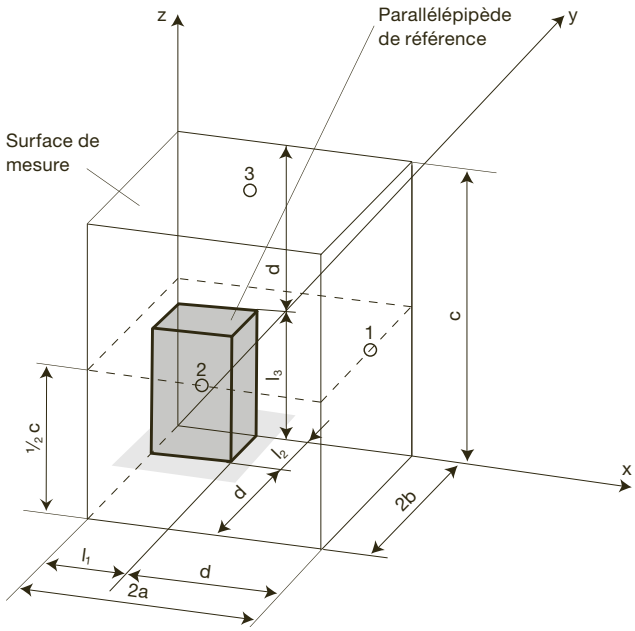


Fig. 15 Surface de mesure parallélépipédique avec trois positions de microphones pour une source de bruit au sol et devant un coin [S = 2(ac + 2ab + bc)].

7 Environnement de mesure

7.1 Généralités

Pour la classe de précision 3, dont il est question ici, on peut supposer que la surface de mesure se situe hors du champ proche lorsque la distance de mesure à partir de la source de bruit considérée est égale ou supérieure à 0,15 m.

7.2 Types de surfaces réfléchissantes

Comme plans réfléchissants admissibles en plein air, citons la terre compactée et des surfaces artificielles telles que le béton ou l'asphalte. Pour les mesures exécutées à l'intérieur, tous les types de revêtement de sol réfléchissants tels que le béton, l'asphalte coulé, le parquet, etc. sont conformes aux normes.

Le plan réfléchissant doit être plus grand que la surface de mesure projetée sur celui-ci.

Le coefficient d'absorption sonore α_s du plan réfléchissant doit être inférieur à 0,1 dans la gamme de fréquence considérée. Cette condition est normalement remplie dans les locaux dotés d'un plancher en béton ou en bois. Si les mesures sont exécutées en plein air, par exemple au-dessus d'une pelouse ou d'un sol recouvert de neige, la distance de mesure ne doit pas être supérieure à 1 m.

Aucun objet réfléchissant n'appartenant pas à la source examinée ne doit se trouver à l'intérieur de la surface de mesure.

8 Exécution du mesurage

8.1 Conditions environnantes

Les conditions environnantes exerçant un effet perturbateur sur les microphones utilisés pour les mesures (vent, températures élevées ou basses, forts champs électriques ou magnétiques, etc.) doivent être évitées. Il est recommandé d'appliquer une coiffe anti-vent sur le microphone de mesure lorsque des moteurs et autres groupes d'entraînement produisent des turbulences pouvant atteindre des valeurs locales très élevées. Dans tous les cas, observez les instructions du fabricant en ce qui concerne les effets de l'environnement et l'orientation des microphones.

8.2 Mesure du niveau de pression acoustique

Le niveau de pression acoustique pondéré A doit être mesuré durant un cycle représentatif de fonctionnement de la source sonore et pendant au moins 30 secondes. Les valeurs à mesurer sont:

- le niveau de pression acoustique pondéré A L'_{pA} durant le fonctionnement de la source sonore
- le niveau de pression acoustique pondéré A L''_{pA} représentant le bruit de fond

En cas de bruits fluctuant dans le temps, la détermination du temps de mesure est particulièrement importante. Pour les machines présentant des régimes d'exploitation produisant des niveaux sonores différenciés, une durée de mesure appropriée doit être choisie pour chaque régime d'exploitation. Pour être sûr que les mesures soient conformes, il faut utiliser un sonomètre répondant aux prescriptions de la norme EN 61672 (voir ch. 4.6).

8.3 Calcul du niveau de pression acoustique moyen

À partir des niveaux de pression acoustique pondérés A L'_{pAi} et L''_{pAi}, il s'agit de calculer sur toute la surface de mesure les niveaux moyens de pression acoustique pondérés A L'_{pA} et L''_{pA} pour le bruit de fond, à l'aide de l'équation suivante:

$$\bar{L}'_{pA} = 10 \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} 10^{0,1 \cdot L'_{pAi}} \right] \quad [dB] \quad \textbf{[EQ 12]}$$

$$\bar{L}''_{pA} = 10 \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} 10^{0,1 \cdot L''_{pAi}} \right] \quad [dB] \quad \textbf{[EQ 13]}$$

N = nombre de positions de microphones



Fig. 16 Mesure du niveau de pression acoustique avec six microphones à proximité d'un poste de collecte de verre usagé. Les microphones sont signalés par des cercles.

8.4 Correction pour le bruit de fond

La valeur de mesure de la source sonore examinée doit être, pour chaque point de mesure, supérieure d'au moins 3 dB au niveau du bruit de fond ou bruit étranger. Si cette condition n'est pas remplie, le mesurage ne peut pas être considéré comme conforme à la norme. Lorsque la différence entre le bruit de fond et le niveau acoustique de la source sonore est inférieure à 10 dB, le résultat obtenu devra être corrigé selon le tableau 7 (correction K_{1A}).

La correction K_{1A} se calcule également à l'aide de la relation suivante:

$$K_{1A} = -10 \lg \left(1 - 10^{-0,1 \Delta L_A}\right) \quad [dB] \quad \textbf{[EQ 14]}$$

où: $\Delta L_A = L'_{pA} - L''_{pA}$

Tableau 7
Valeurs de correction du bruit de fond K_{1A}

Différence de niveau entre la source sonore et le bruit de fond, en dB	Valeur de correction K_{1A} qui doit être soustraite du niveau de la source sonore, en dB.
3	3
4	2
5	2
6	1
7	1
8	1
9	0,5
10	0,5
>10	0

8.5 Correction pour l'environnement de mesure

L'utilisation de la méthode de mesure présentée est strictement réservée à des locaux fermés et dont la longueur est inférieure au triple de la hauteur.

La correction K_{2A} prend en compte les réflexions indésirables des surfaces délimitant le local et (ou) des objets réfléchissants se trouvant à proximité de la source sonore. La correction d'environnement dépend du rapport de la surface d'absorption du bruit A du local de mesure à la valeur S de la surface de mesure; elle ne doit pas être égale ou supérieure à 1. Plus le rapport A/S est grand, meilleures sont les conditions d'environnement.

La correction d'environnement K_{2A} ne doit pas dépasser 7 dB. Lorsque les conditions existantes produisent une valeur supérieure, il faut choisir une surface de mesure inférieure (distance de mesure inférieure). Si la réduction de la distance de mesure ne permet pas de remplir la condition $K_{2A} < 7$ dB, il faut appliquer les normes EN ISO 3747, EN ISO 9614-1 ou EN ISO 9614-2.

Pour un mesurage en plein air, le facteur d'environnement K_{2A} est très faible. Dans certains cas à l'air libre, la valeur K_{2A} peut être négative. Lors de l'application de la norme EN ISO 3746, K_{2A} est alors considéré comme égal à zéro.

8.5.1 Réverbération

Toute détermination précise de l'influence de l'environnement sur le mesurage implique la connaissance exacte des caractéristiques acoustiques du local. À cette fin, il est nécessaire d'effectuer des mesures du temps de réverbération. À partir du volume du local (V), il est alors possible de calculer le pouvoir absorbant A (équation de Sabine):

$$A = \frac{0{,}16 \cdot V}{T} \quad [m^2] \qquad \textbf{[EQ 15]}$$

T = temps de réverbération [s]:
détermination par mesure
V = volume du local [m^3]

Afin de déterminer la correction d'environnement K_{2A}, il peut s'avérer judicieux d'adopter le temps de réverbération mesuré à la fréquence médiane de 1000 Hz.

D'où la correction K_{2A}:

$$K_{2A} = 10 \lg [1 + 4\,(S/A)] \quad [dB] \qquad \textbf{[EQ 16]}$$

S = taille de la surface de mesure [m^3].
L'équation 16 est représentée par la fig. 17.

8.5.2 Méthode estimative

Si la mesure du temps de réverbération n'est pas possible, on peut recourir au procédé estimatif décrit ci-après:

1. Détermination du facteur moyen d'absorption acoustique α du local d'après le tableau 8
2. Calcul de la surface totale du local S_V (sol, parois et plafond) en m^2
3. Calcul du pouvoir d'absorption A:

$$A = \alpha \cdot S_V \qquad [m^2] \qquad \textbf{[EQ 17]}$$

4. La valeur de correction d'environnement K_{2A} peut alors être déterminée, compte tenu du pouvoir d'absorption A calculé au point 3, à l'aide du diagramme de la fig. 17 ou de l'équation 16 en fonction du rapport A/S (S = surface de mesure).

8.6 Calcul du niveau de pression acoustique surfacique pondéré A

Le niveau de pression acoustique surfacique pondéré A L_{pfA} est obtenu par correction de la valeur L'_{pA} du bruit de fond et du bruit réfléchi au moyen des facteurs de correction K_{1A} et K_{2A}, comme suit:

$$\bar{L}_{pfA} = \bar{L}'_{pA} - K_{1A} - K_{2A} \qquad [dB] \qquad \textbf{[EQ 18]}$$

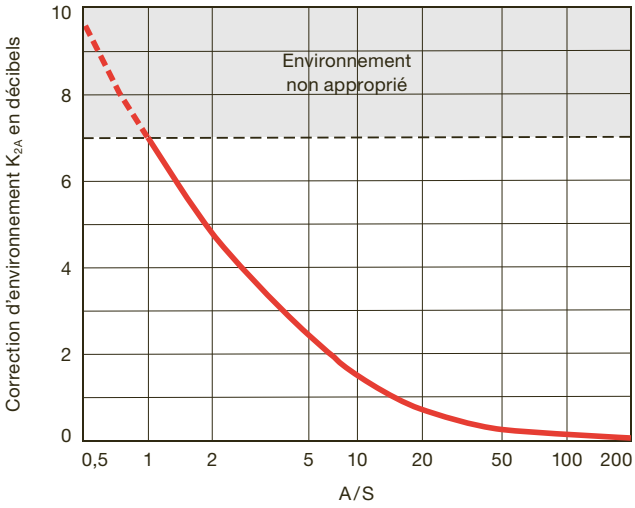


Fig. 17 Diagramme de correction d'environnement.

Tableau 8
Valeurs indicatives du facteur moyen d'absorption α selon EN ISO 3746.

Facteur moyen d'absorption acoustique α	Description du local
0,05	Local quasiment vide avec parois lisses et réverbérantes en ciment, briques, carreaux ou plâtre
0,1	Local partiellement vide aux parois et au plafond lisses
0,15	Local rectangulaire meublé ou équipé de machines, ou atelier artisanal rectangulaire
0,2	Local de forme irrégulière meublé, local de machines ou atelier d'artisanat de forme irrégulière
0,25	Local équipé de meubles rembourrés, local de machines ou atelier artisanal avec faible quantité de matériaux absorbants sur le plafond et les parois (p. ex. plafond partiellement absorbant)
0,3	Local avec plafond absorbant, sans matériaux absorbants sur le plafond et les parois
0,35	Local équipé de matériaux absorbants sur le plafond et les parois
0,5	Local équipé d'une grande quantité de matériaux absorbants sur le plafond et les parois

9 Niveau de puissance acoustique

9.1 Calcul du niveau de puissance acoustique pondéré A

Le niveau de puissance acoustique pondéré A L_{WA} se calcule ainsi:

$$L_{WA} = \bar{L}_{pfA} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad [dB] \quad \textbf{[EQ 19]}$$

$\bar{L}_{pfA}$ = niveau de pression acoustique surfacique pondéré A obtenu par l'équation 18
S = valeur de la surface de mesure [m²]
S_0 = 1 m²

9.2 Détermination de paramètres supplémentaires

La détermination des paramètres supplémentaires suivants peut s'avérer judicieuse dans la mesure où les normes de mesure du bruit série DIN 45635 énumérées à l'annexe 1 l'exigent.

Indications concernant le caractère impulsif du bruit
Le caractère impulsionnel (impulsivité) du bruit peut être déterminé de la manière suivante:

$$\text{Impulsivité: } L_{pAieq} - L_{pAeq} \quad \textbf{[EQ 20]}$$

L_{pAieq} = niveau de puissance acoustique continu équivalent avec pondération temporelle «caractère impulsionnel»
L_{pAeq} = niveau de puissance acoustique continu équivalent avec pondération temporelle «rapide» (fast)

Les mesures doivent être répétées au minimum cinq fois par cycle de fonctionnement. Si la valeur moyenne d'impulsivité excède 3 dB, le bruit est considéré comme ayant un caractère impulsif.

Sons purs
L'occurrence de sons purs peut être déterminée au moyen de tests auditifs.

Analyse spectrale
Il est possible de représenter le spectre du niveau de pression acoustique, de préférence par tiers d'octave, en des positions de microphones particulières, ou sous forme de valeur moyenne pour la totalité de la surface de mesure.

Fluctuation du bruit dans le temps
Les fluctuations du niveau de pression acoustique pondéré A en une position de microphone déterminée sur la surface de mesure peuvent être représentées sur un diagramme «niveau de pression acoustique-temps».

Interprétation différenciée du temps et (ou) de la fréquence
Selon la source sonore, il peut s'avérer utile de donner une interprétation différenciée du temps et de la fréquence aux positions individuelles des microphones sur la surface de mesure.

9.3 Rapport de mesure

Les indications suivantes doivent figurer dans le rapport de mesure:

9.3.1 Source sonore
a. Nature de la source de bruit
b. Données techniques
c. Dimensions
d. Fabricant
e. Numéro de série
f. Année de construction

9.3.2 Conditions de mesure
a. Conditions d'exploitation
b. Installation
c. Disposition de la source sonore dans l'environnement de mesure
d. En cas de sources sonores multiples sur l'objet de la mesure, indication de la source en fonction durant le mesurage

9.3.3 Environnement acoustique

a. Description de l'environnement de mesure.
   En cas de mesurage dans un local fermé, description des caractéristiques des parois, plafonds et sols; croquis de la disposition de la source sonore et autres objets à l'intérieur du local
b. Adéquation acoustique de l'environnement de mesure

9.3.4 Instruments de mesure

a. Indication du nom, du type, du numéro de série et du fabricant des instruments utilisés pour le mesurage
b. Procédé d'étalonnage utilisé pour les microphones et autres éléments du système; indication de la date, du lieu et des résultats de l'étalonnage
c. Le cas échéant, description du pare-vent utilisé

9.3.5 Données acoustiques

a. Niveau de puissance acoustique pondéré A arrondi à 0,1 dB
b. Forme de la surface de mesure, distance ou rayon de mesure, disposition et orientation des microphones
c. Grandeur de la surface de mesure S
d. Correction de bruit de fond K_{1A} en dB pour le niveau de pression acoustique surfacique pondéré A
e. Correction d'environnement K_{2A} et méthode utilisée pour sa détermination
f. Niveau de pression acoustique pondéré A L_{pAi} à chaque point de mesure i
g. Niveau de pression acoustique surfacique pondéré A $L_{pfA,x}$, x étant la distance d ou le rayon de mesure r
h. Lieu et date du mesurage et personne responsable

9.3.6 Autres données possibles

a. Niveau de pression acoustique pondéré A à une position de microphone déterminée sur la surface de mesure
b. Indications sur l'impulsivité du bruit
c. Indications sur la teneur en sons purs (analyse spectrale)
d. Fluctuations dans le temps du niveau de pression acoustique pondéré A à une position déterminée de microphone ou sur la surface de mesure
e. Vitesse et direction du vent

9.3.7 Récapitulation

Le rapport de mesure doit indiquer si les niveaux de puissance acoustique ont été déterminés conformément à la norme EN ISO 3746.

9.3.8 Modèle de rapport

Un modèle de rapport est joint en annexe (annexe 2: formule vierge pour réutilisation; annexe 3: avec exemple de mesures).

10 Conversion du niveau de puissance acoustique en niveau de pression acoustique

10.1 Généralités

Il est possible de convertir le niveau de puissance acoustique (indiqué p. ex. par un fournisseur pour une machine particulière) en niveau de pression acoustique à l'aide de méthodes simples. Une telle conversion s'avère nécessaire lorsque l'on veut déterminer le niveau acoustique ambiant ou le niveau de pression acoustique au poste de travail.

10.2 Types de champs sonores

10.2.1 Champ sonore libre

Lorsque les plans limites font défaut ou absorbent efficacement le son, seul le son direct est perçu. Dans un tel champ sonore libre, la pression acoustique d'une source diminue de moitié chaque fois que la distance est doublée, le niveau sonore diminuant ainsi chaque fois de 6 dB.

10.2.2 Champ sonore diffus

On parle de champ sonore diffus en présence de plans limites qui réfléchissent l'essentiel de l'émission sonore. Les réflexions proviennent de toutes parts et se succèdent à une telle rapidité que l'on ne peut entendre aucun écho.

Le niveau sonore est approximativement égal en tout point dans un local où règne un champ sonore diffus.

10.2.3 Champ sonore dans un local

Dans les locaux, le champ sonore libre et le champ sonore diffus se superposent. À proximité de la source sonore, le son direct domine, les caractéristiques acoustiques du local ne jouant aucun rôle.

En revanche, à une certaine distance de la source, le son indirect (réfléchi) est prépondérant et le niveau sonore dépend relativement peu de l'endroit considéré, bien qu'il puisse être réduit si l'absorption sonore est augmentée. La distance à laquelle la composante du son direct et celle du son diffus sont égales est appelée rayon de réverbération r_H et peut être calculée comme suit:

$$r_H = \frac{1}{7}\sqrt{A \cdot Q} \qquad [m] \qquad \textbf{[EQ 21]}$$

A = pouvoir absorbant en m² selon le ch. 8.5.1, équation 15 ou ch. 8.5.2, équation 17

Q = facteur de directivité

Selon sa position, une source sonore ne peut rayonner sa puissance acoustique dans chaque direction, mais seulement dans une portion réduite du local. On distingue quatre cas de rayonnement (tableau 9).

Tableau 9
Facteur de directivité Q selon l'emplacement de la source.

Facteur de directivité	Rayonnement	Emplacement de la source sonore
Q = 1	sphérique	au milieu du local
Q = 2	hémisphérique	sur le sol ou au milieu d'une paroi
Q = 4	quart de sphère	dans une arête du local
Q = 8	huitième partie de sphère	dans un coin du local

Lorsque les machines sont installées sur le sol d'une halle, on considère en général que le facteur de directivité est de Q = 2.

10.3 Calcul du niveau de pression acoustique dans les locaux industriels

10.3.1 Base de calcul générale

Pour le calcul du niveau de pression acoustique dans les locaux industriels, on tiendra également compte, outre du facteur de directivité et de la distance, des caractéristiques acoustiques du local en question. À cet effet, on peut établir la relation suivante, utile en pratique, entre le niveau de puissance acoustique et le niveau de pression acoustique:

$$L_p = L_w + 10 \lg \left[\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot d^2} + \frac{4}{A} \right] \text{ [dB]} \quad \textbf{[EQ 22]}$$

Composante sonore directe | Composante sonore indirecte

L_p = niveau de pression acoustique [dB]
L_W = niveau de puissance acoustique [dB]
Q = facteur de directivité (selon ch. 10.2.3)
d = distance entre source sonore et point de mesure [m]
A = pouvoir d'absorption sonore en m² (ch. 8.5.1, équation 15, ou ch. 8.5.2, équation 17)

10.3.2 Critères de classification de l'acoustique ambiante et de la propagation du son

Dans la pratique, on distinguera les différents cas suivants:

Propagation du son	Valable pour
diffuse	grandes machines dans de petits locaux*)
directe/diffuse	petites machines dans des locaux cubiques ou réverbérants
directe/décroissante	petites machines dans une halle basse absorbante
directe	en plein air

*) Le plus simple concernant ce critère de classification est de prendre en considération le volume de la machine. Si ce dernier est supérieur à 5 % du volume du local, on parle de grande machine dans un petit local.

10.3.3 Champ sonore diffus

Ce cas relativement fréquent dans la pratique (p. ex. machines d'imprimerie et à papier) se calcule de la manière suivante:

$$L_p = L_w + 10 \lg \frac{4}{A} \quad \text{[dB]} \quad \textbf{[EQ 23]}$$

La composante de son direct s'avère donc négligeable. Le pouvoir d'absorption du plafond et des parois influe directement sur la réduction du niveau sonore. Un pouvoir d'absorption deux fois supérieur (ou une diminution de moitié du temps de réverbération) entraîne une baisse du niveau acoustique ambiant de 3 dB.

10.3.4 Champ sonore direct et diffus

Dans ce cas, il faut tout d'abord définir avec plus de précision les conditions relatives au local. En premier lieu, il s'agit de locaux cubiques (le rapport de la plus grande dimension sur la plus petite ne devant pas être supérieur à 3:1) et de halles basses à faible absorption (sans plafond acoustique). Le niveau de pression acoustique peut maintenant être déterminé au moyen de l'équation 22, ch. 10.3.1.

10.3.5 Champ sonore direct et décroissant

Ici, des halles basses et pourvues au moins d'un plafond légèrement absorbant sont prises en considération.

L'estimation de la diminution du niveau sonore à grande distance s'effectue comme suit: on calcule dans un premier temps le rayon de réverbération r_H à l'aide de l'équation 21, puis on insère le rayon de réverbération ainsi obtenu dans l'équation 20, à la place de d. On obtient ainsi le point où la composante de son direct est égale à celle du son réfléchi par le local:

$$L_p = L_w + 10 \lg \left[\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r_H^2} + \frac{4}{A} \right] \text{ [dB]} \quad \textbf{[EQ 24]}$$

La valeur déterminée avec l'équation 24 sert de base de calcul, le niveau acoustique diminuant de 4 à 5 dB par doublement de la distance. Le point de départ de cette évaluation est le rayon de réverbération r_H.

10.3.6 Propagation du son à l'extérieur

La composante de son indirect étant absente à l'extérieur, on peut recourir, pour la détermination du niveau sonore, à l'équation simplifiée 22. Il faut néanmoins s'attendre à des atténuations parfois considérables pour de grandes distances.

$$L_p = L_w + 10 \lg \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot d^2} \quad [dB] \quad \textbf{[EQ 25]}$$

Exemple

Donnée: $L_W = 95$ dB(A)
$d = 5$ m

Problème: L_p
La source sonore se trouve au sol, c.-à-d. que le rayon est hémisphérique ($Q = 2$).

Solution:

$$\mathbf{L_{p,\,5m}} = L_w + 10 \lg \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot d^2} = 95 + 10 \lg \frac{2}{4 \cdot \pi \cdot 5^2}$$
$$= 95 + (-22) = \mathbf{73\ dB(A)}$$

10.4 Exemple

10.4.1 Définition du problème

Selon les indications du fabricant, le niveau de puissance acoustique d'une machine aux dimensions $1{,}5 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}8$ m (l_1, l_2, l_3) est de $L_{WA} = 103$ dB. Le local dans lequel il est prévu d'installer la machine (sur le sol, c.-à-d. $Q = 2$) possède une surface de base de $10 \cdot 15$ m² et une hauteur de 4 m. Ce local contient déjà quelques machines et un plafond légèrement absorbant. Il s'agit donc d'une halle basse selon le ch. 10.3.5.

10.4.2 Questions

Quelle est la valeur

a. du rayon de réverbération r_H?
b. du niveau de pression acoustique L_p au poste de travail sur la machine (à une distance de 2 m)?
c. du niveau de pression acoustique surfacique à une distance de 1 m (à titre de contrôle lors de la réception de la machine)?
d. du niveau de pression acoustique à une distance de 9 m?

10.4.3 Solutions

Il s'agit d'abord de considérer de plus près les conditions acoustiques du local en vue de l'estimation du pouvoir d'absorption A et du temps de réverbération T.

1. À l'aide du tableau 7 (ch. 8.5.1) et de la description du local donnée dans la définition du problème, on peut déterminer le facteur moyen d'absorption α: $\alpha = 0{,}25$.
2. Surface totale du local $S_V = 500$ m²
   [pour les locaux rectangulaires, $S_V = 2(L \cdot B) + 2H(L + B)$].
3. Le pouvoir d'absorption du local, selon l'équation 17, ch. 8.3, est égal à
   $\mathbf{A} = \alpha \cdot S_V = 0{,}25 \cdot 500 = \mathbf{125\ m^2}$.
4. Le volume du local s'élève à $V = 10 \cdot 15 \cdot 4 = 600$ m³.
5. Il est maintenant possible de calculer le temps de réverbération au moyen de l'équation 15 donnée sous le ch. 8.5.1:

$$\mathbf{T} = \frac{0{,}16 \cdot V}{A} = \frac{0{,}16 \cdot 600}{125} = \mathbf{0{,}78\ s}$$

Ces calculs de base permettent de répondre aux différentes questions comme suit:

a. Selon l'équation 21, ch. 10.2.3, le rayon de réverbération est de:

$$r_H = \frac{1}{7}\sqrt{A \cdot Q} = \frac{1}{7}\sqrt{125 \cdot 2} = 2{,}3\ \text{m}$$

b. En application de l'équation 22, ch. 10.3.1, le niveau de pression acoustique équivaut à:

$$\mathbf{L_{p,\,2}} = L_w + 10 \lg \left[\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot d^2} + \frac{4}{A}\right]$$
$$= 103 + 10 \lg \left[\frac{2}{4 \cdot \pi \cdot 2^2} + \frac{4}{125}\right]$$
$$= 103 + (-11)\ \mathbf{92\ dB(A)}$$

Le poste de travail se trouve près du rayon de réverbération; l'acoustique du local exerce donc une faible influence.

c. Le niveau de pression acoustique surfacique L_{pfA} peut être tiré de l'équation 18, ch. 8.6 (hypothèse: absence de bruit étranger significatif, soit $K_{1A} = 0$):

$$\bar{L}_{pfA} = L_{WA} - 10 \lg (S / S_0) + K_{2A}$$

La valeur de la surface de mesure S peut être calculée comme suit, sur la base des dimensions données de la machine et de la distance de mesure d = 1 m (ch. 6.4.1, équation 11):

$a = 0{,}5\,l_1 + d = 0{,}5 \cdot 1{,}5 + 1 = 1{,}75\,m$

$b = 0{,}5\,l_2 + d = 0{,}5 \cdot 0{,}5 + 1 = 1{,}25\,m$

$c = l_3 + d = 1{,}8 + 1 = 2{,}8\,m$

Calcul de la surface de mesure S:

$\mathbf{S} = 4\,(ab + bc + ca)$

$= 4\,(1{,}75 \cdot 1{,}25 + 1{,}25 \cdot 2{,}8 + 2{,}8 \cdot 1{,}75)$

$= \mathbf{42{,}3\,m^2}$

Il est enfin nécessaire de tenir compte de l'influence de l'environnement, soit selon l'équation 16, ch. 8.5.1:

$K_{2A} = 10\,lg\,[1 + 4\,(S/A)]$

$= 10\,lg\,[1 + 4\,(42{,}3/125]$

$= 3{,}7\,dB$

D'où le niveau de pression acoustique surfacique:

$\mathbf{L_{pfA}} = 103 - 10\,lg\;42{,}3 + 3{,}7 = \mathbf{90{,}4\,dB}$

d. D'après le ch. 10.3.5, on peut admettre une diminution du niveau acoustique de 4 dB par doublement de la distance. À la distance du rayon de réverbération:

$$\mathbf{L_p} = L_w + 10\,lg\,\left[\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r_H^2} + \frac{4}{A}\right]$$

$$= 103 + 10\,lg\,\left[\frac{2}{4 \cdot \pi \cdot 2{,}3^2} + \frac{4}{125}\right]$$

$$= 103 + (-12) = \mathbf{91\ dB(A)}$$

Ainsi, la réduction due à une distance de 4,5 m est égale à 4 – 5 dB et, pour une distance de 9 m, à 8 – 10 dB, c'est-à-dire:

$$\mathbf{L_{p,\,9\,m}} = 91 - (8 - 10) = \mathbf{81 - 83\ dB(A)}$$

Remarques

La présentation détaillée de toutes les étapes du calcul a pour objectif de faciliter le traitement d'un cas réel.

Il convient de ne pas surestimer l'influence d'une estimation exacte des caractéristiques acoustiques du local (α_S). En effet, une divergence de ± 30 % (en ce qui concerne α_S) ne se reflète qu'à raison de ± 1 dB sur le résultat du calcul.

Essayez de refaire ces calculs à partir d'un exemple choisi par vous-même!

11 Formulation des exigences

11.1 Introduction

De plus en plus, les acquéreurs de nouvelles machines ou installations souhaitent voir figurer dans le contrat d'achat des valeurs limites de bruit. Nous indiquons ci-après les possibilités en la matière.

11.2 Bases légales

Les bases légales sont énumérées dans l'annexe 4. Il est extrêmement important que les exigences en matière de bruit figurent dans le contrat de livraison. Il s'agit là du seul moyen d'obtenir juridiquement l'observation des valeurs garanties.

11.3 Valeurs limites du bruit dangereux pour l'ouïe

Voir annexe 5.

11.4 Exigences concrètes

Dans la soumission et dans le contrat d'achat doivent être stipulées les valeurs indicatrices d'émission et d'immission en un point de fonctionnement donné et devant être garanties.

11.4.1 Valeurs d'émission

Puissance acoustique	$L_{WA} \leq$ dB
Valeur d'émission spécifique au poste de travail	$L_{pA} \leq$ dB
Point de fonctionnement de la machine	Puissance N = Vitesse n = etc.

11.4.2 Valeurs d'immission

Niveau de pression acoustique à une distance de 1 m	$L_m \leq$ dB(A)
Niveau de bruit de fond (GP) à cet emplacement:	$L_m =$ dB(A)
Conditions acoustiques du local conformes aux prescriptions de la publication Suva «Valeurs limites et valeurs de référence acoustiques», www.suva.ch/86048.f	☐ oui ☐ non
Installation en plein air	☐ oui ☐ non
Limites d'exposition selon l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB):	$L_r \leq$ dB(A)
Distance par rapport au point d'immission:	d = m

11.4.3 Remarques

On tiendra compte du fait que, pour une machine isolée, il faut fixer une valeur se situant de 3 à 5 dB au-dessous du niveau de base existant. Il en va de même lors de la commande de plusieurs machines. Lorsque cette exigence est satisfaite, on peut s'attendre à ce que le niveau de base existant ne soit pas augmenté.

11.5 Valeur indicative relative: état de la technique

Les exigences essentielles de sécurité et de santé suivantes sont définies à l'annexe I, paragraphe 1.5.8 (risques dus au bruit) de la directive 2006/42/CE:

- La machine doit être conçue et construite pour que les risques résultant de l'émission du bruit aérien produit soient réduits au niveau le plus bas compte tenu du progrès technique et de la disponibilité de moyens de réduction du bruit, notamment à la source.

12 Conclusions

Les indications de niveau sonore (valeurs d'émission) avancées par les fournisseurs sont sans valeur s'il n'apparaît pas clairement qu'il s'agit du niveau de pression ou de puissance acoustique.

S'il s'agit du niveau de pression acoustique, le point de mesure doit être précisé et les conditions locales préalablement définies (p. ex. caractéristiques acoustiques).

Les indications de niveau doivent toujours être accompagnées des régimes d'exploitation correspondants (vitesse, puissance, température, matières traitées, etc.).

L'observation des valeurs acoustiques stipulées dans le contrat ne peut être rendue obligatoire que lorsque les clauses contractuelles correspondantes sont explicites et sans équivoque.

Si les valeurs garanties sont dépassées, même après que des mesures additionnelles ont été prises, l'acquéreur peut faire valoir une moins-value, notamment lorsque cela est prévu aux termes du contrat.

Les exigences doivent être conformes à la pratique généralement acceptée. Ainsi, quand le niveau de puissance acoustique usuel d'un certain type de machine est de 95 – 105 dB(A), on ne peut pas tout simplement exiger un niveau de 85 dB(A). Une étude sommaire du marché permet d'identifier les limites des possibilités techniques.

Des exigences raisonnables doivent aussi être formulées dans les cas où il n'est pas possible de descendre en dessous de la limite de bruit dangereux pour l'ouïe. En procédant de la sorte, on manifeste l'intérêt que l'on porte à la lutte contre le bruit, sans se contenter de tout accepter.

13 Bibliographie

(1) EN ISO 3746:
(2) Lips W.: Akustik für HLKS-Ingenieure
(3) Schmidt H.: Schalltechnisches Taschenbuch, VDI-Verlag
(4) Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 88, Forschungsergebnisse für die Praxis: Lärmminderung – Geräuschemissionswerte 1, Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund
(5) Suva: Acoustique des locaux industriels, www.suva.ch/66008.f

Annexe 1

Récapitulation des feuillets complémentaires à la norme DIN 45635
État: mai 2015

La version en vigueur des normes peut être trouvée facilement sur Internet, par exemple sur www.beuth.de. La Suva actualise de temps en temps la liste ci-dessous.

Mesurage du bruit émis par les machines; émission de bruit aérien, méthode de la surface enveloppante
DIN 45635-1
Méthode de la surface enveloppante; méthode cadre pour 3 classes de précision
DIN 45635-11
Moteurs à combustion interne
DIN 45635-12
Appareils de distribution et de coupure
DIN 45635-15
Turbogénérateurs dans les centrales thermiques pour la production d'électricité
DIN 45635-16
Machines-outils
DIN 45635-22
Torches
DIN 45635-23
Engrenages
DIN 45635-25
Chalumeaux et machines à autogène et à plasma
DIN 45635-26
Pompes hydrauliques
DIN 45635-31
Broyeurs
DIN 45635-33
Machines de chantier
DIN 45635-34
Chasse-boulons
DIN 45635-37
Machines pour la transformation de matières artificielles et de caoutchouc
DIN 45635-38
Méthode de la salle réverbérante et de mesurage dans les canaux; ventilateurs
DIN 45635-40
Groupes de machines dans les centrales hydro-électriques et dans les stations de pompage à eau
DIN 45635-41
Agrégats hydrauliques
DIN 45635-41 Feuillet complémentaire 1
Agrégats hydrauliques; modèle de compte-rendu de mesurages (procès-verbal de mesure)
DIN 45635-45
Engins de manutention continue
DIN 45635-46
Réfrigérants à cheminée
DIN 45635-47
Cheminées
DIN 45635-50
Garnitures et ferrures
DIN 45635-51
Caméras pour le cinéma
DIN 45635-52
Locomotives diesel pour la mine et pour convois sur rail dans les mines propulsés au diesel
DIN 45635-53
Chariots roulant au diesel
DIN 45635-54
Véhicules de mine non montés sur rail
DIN 45635-55
Chariots de manœuvre avec galet de friction et/ou commande par engrenage
DIN 45635-56
Générateurs pulseurs d'air chaud, aérothermes et pièces de ventilateurs pour les appareils servant au traitement de l'air
DIN 45635-57
Moteurs hors-bord
DIN 45635-60
Projecteurs de diapositives et projecteurs cinématographiques
DIN 45635-62
Machines et équipements pour la fabrication de pierres, de plaques, de tuyaux et d'éléments préfabriqués en béton

DIN 45635-1601
Machines-outils pour le travail du métal, stipulations spéciales pour les tours
DIN 45635-1602
Machines-outils pour le travail du métal, stipulations spéciales pour les marteaux de forge d'estampe
DIN 45635-1605
Machines-outils pour le travail du métal; stipulations spéciales pour les fraiseuses
DIN 45635-1607
Machines-outils pour le travail du métal; stipulations spéciales pour les machines à fraiser par développante
DIN 45635-1610
Machines-outils pour le travail du métal; stipulations spéciales pour les ponceuses
DIN 45635-1650
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour les machines à raboter
DIN 45635-1651
Machines à bois; règles particulières pour les machines à scier circulaires à table de menuisier
DIN 45635-1652
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour les fraiseuses pour les travaux unilatéraux
DIN 45635-1654
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour les machines à coller les plaçages sur chants à plusieurs étages
DIN 45635-1655
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour les machines à coller les plaçages sur chants et les machines pour mise au format
DIN 45635-1657
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour les doubles tronçonneuses circulaires
DIN 45635-1658
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour scies circulaires à outil mobile à une seule lame
DIN 45635-1659
Machines à bois; règles particulières pour les machines à scier circulaires pour coupe de panneaux au format
DIN 45635-1660
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour les défonceuses
DIN 45635-1661
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour les machines à scier à ruban à table et les machines à scier à ruban à refendre
DIN 45635-1662
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour les machines à tenons et les mortaiseuses unilatérales
DIN 45635-1663
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour les ponceuses
DIN 45635-1664
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour les scies circulaires à plusieurs lames
DIN 45635-1665
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour les machines à tenons et mortaiseuses pour les travaux bilatéraux
DIN 45635-1666
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour les scies circulaires à deux ou plusieurs lames pour la coupe de dégrossissage
DIN 45635-1667
Machines à travailler le bois, stipulations spéciales pour les doubles scies circulaires à outil mobiles

Annexe 2

Modèle de rapport

Document de base: EN ISO 3746: 2010 (classe de précision 3)

Date:	Commande:
Installation / machine Données techniques: Dimensions: Régimes d'exploitation:	
Local de mesure Dimensions (l_1, l_2, l_3):	Volume: V = m³
Equipement acoustique Sol:	Parois:
Plafond: Facteur moyen d'absorption acoustique $\overline{\alpha}_S$ =	Surface du local S_V = m²
Pouvoir absorbant A = _m² Temps moyen de réverbération T = s	❑ Mesuré ❑ Calculé
Forme de la surface de mesure	❑ Parallélépipède ❑ Hémisphère ❑
Distance de mesure d = m	r = m
Calcul de la surface de mesure:	
Type d'installation / montage de la machine	❑ voir schéma sur feuille annexée
Conditions de mesure Correction du microphone: dB Instruments de mesure utilisés: Dernière date d'étalonnage:	N°.
Instrument d'étalonnage: Date du contrôle et lieu:	

N° de la mesure	Régime d'exploitation (puissance, nombre de tours, vitesse, etc.)	Niveau de pression acoustique pondéré A L'_{pA} en dB au point de mesure									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1											
2											
3											
4											
5											
Bruit de fond L''_{pA}											
Correction K_{1A} pour le bruit de fond											

Correction pour le bruit de fond

$K_{1A} = -10 \lg (1 - 10^{-0,1\Delta_A}) = -10 \lg (1 - 10^{-0,1(L'_{pA} - L''_{pA})}) =$ dB

Niveau moyen de pression acoustique

N° de la mesure	1	2	3	4	5	
L'_{pA}						dB

Correction d'environnement

$K_{2A} = 10 \lg [1 + 4 (S/A)] = 10 \lg [1 + 4 (\quad / \quad)] =$ dB

Niveau de pression acoustique surfacique pondéré A

$L_{pfA} = \overline{L'_{pA}} - K_{1A} - K_{2A}$

N° de la mesure	1	2	3	4	5	
$\overline{L}_{pfA}$						dB

Niveau de puissance acoustique pondéré A

$L_{WA} = \overline{L}_{pfA} + 10 \lg \frac{S}{S_0} = \overline{L}_{pfA} + 10 \lg \frac{}{1} = \overline{L}_{pfA}$

N° de la mesure	1	2	3	4	5	
$\overline{L}_{pfA}$						dB

Observations:

Préposé: Signature:

Annexe 3

Modèle de rapport

Document de base: EN ISO 3746: 2010 (classe de précision 3)

Date: 25.4.00 Commande: Atelier de construction méc. Moiel, Vevey

Installation / machine Pompe universelle à pistons axiaux, type UX-102

Données techniques: $n = 1000\ min^{-1}$, $W_{max} = 3{,}2\ kW$
$p = 9 - 18$ bars, $\dot{V} = 41 - 62\ \ell/min$

Dimensions: $0{,}3 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}3\ m^3$

Régimes d'exploitation: 1ère: $p = 18$ bars, $\dot{V} = 62\ \ell/min$ 3ème: $p = 12$ bars, $\dot{V} = 45\ \ell/min$
2ème: $p = 15$ bars, $\dot{V} = 52\ \ell/min$ 4ème: $p = 9$ bars, $\dot{V} = 41\ \ell/min$

Local de mesure

Dimensions (l_1, l_2, l_3): 21/15/4 m Volume: V = 1260 m³

Equipement acoustique

Sol: béton Parois: grès calcaire

Plafond: panneaux perforés de fibres minérales

Facteur moyen d'absorption acoustique $\bar{\alpha}_S$ = 0,3 Surface du local S_V = 918 m²

Pouvoir absorbant A = 275 m²

Temps moyen de réverbération T = 0,8 s ☐ Mesuré ☒ Calculé

Forme de la surface de mesure ☒ Parallélépipède ☐ Hémisphère ☐

Distance de mesure d = 1 m r = m

Calcul de la surface de mesure: $a = 1{,}15\ m$ $b = 1{,}45\ m$ $c = 1{,}3\ m$

$$S = 4(1{,}15 \cdot 1{,}45 + 1{,}45 \cdot 1{,}3 + 1{,}3 \cdot 1{,}15) = 20{,}2\ m^2$$

Type d'installation / montage de la machine ☐ voir schéma sur feuille annexée

Conditions de mesure

Correction du microphone: −0,2 dB

Instruments de mesure utilisés: Brüel & Kjaer: sonomètre de type 2230

Dernière date d'étalonnage: 14.3.2000 N°. 428 132

Instrument d'étalonnage: calibreur acoustique Brüel & Kjaer de type 4230

Date du contrôle et lieu: 14.3.2000 office fédéral de métrologie, Wabern/Bern

N° de la mesure	Régime d'exploitation (puissance, nombre de tours, vitesse, etc.)	Niveau de pression acoustique pondéré A L'_{pa} en dB au point de mesure									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	p = 18 bar, $\dot{V}$ = 62 l/min	92	93	93	95	97	96				
2	15 52	90	92	92	91	93	94				
3	12 45	86	88	88	89	90	91				
4	9 41	83	84	84	84	86	86				
5											
Bruit de fond L''_{pA}		<60	<60	<60	<60	<60	<60				
Correction K_{1A} pour le bruit de fond		0	0	0	0	0	0				

Correction pour le bruit de fond

$K_{1A} = -10 \lg (1 - 10^{-0,1\Delta L_A}) = -10 \lg (1 - 10^{-0,1(92 - 60)}) = 0$ dB

Niveau moyen de pression acoustique

N° de la mesure	1	2	3	4	5	
L'_{pA}	94	92	89	84		dB

Correction d'environnement

$K_{2A} = 10 \lg [1 + 4 (S/A)] = 10 \lg [1 + 4 ($ 80,2 / 275 $)] =$ 1 dB

Niveau de pression acoustique surfacique pondéré A

$L_{pfA} = \bar{L}'_{pA} - K_{1A} - K_{2A}$

N° de la mesure	1	2	3	4	5	
$\bar{L}_{pfA}$	93	91	88	83		dB

Niveau de puissance acoustique pondéré A

$L_{WA} = \bar{L}_{pfA} + 10 \lg \frac{S}{S_0} = \bar{L}_{pfA} + 10 \lg \frac{20,2}{1} = \bar{L}_{pfA} + 13$

N° de la mesure	1	2	3	4	5	
$\bar{L}_{pfA}$	106	104	101	96		dB

Observations: A pleine charge (1ère mesure), bruits de percussion à basses fréquences.

Préposé: Walter Lips Signature: W. Lips

Annexe 4

Bases légales relatives à la formulation d'exigences en matière d'immissions sonores de machines et d'installations

La LAA (loi fédérale sur l'assurance-accidents) du 20 mars 1981 ne prévoit à l'art. 82 que le principe général de la prévention des accidents et maladies professionnels. Les art. 9 et 34 OPA (ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles du 19 décembre 1983) sont un peu plus concrets:

Art. 9 Mandats confiés à des tiers
Coopération de plusieurs entreprises

1 Lorsque des travailleurs de plusieurs entreprises sont occupés sur un même lieu de travail, leurs employeurs doivent convenir des arrangements propres à assurer le respect des prescriptions sur la sécurité au travail et ordonner les mesures nécessaires. Les employeurs sont tenus de s'informer réciproquement et d'informer leurs travailleurs respectifs des risques et des mesures prises pour les prévenir.

2 L'employeur doit expressément attirer l'attention d'un tiers sur les exigences de la sécurité au travail au sein de l'entreprise lorsqu'il lui donne mandat, pour son entreprise:

a.[19] de concevoir, de construire, de modifier ou d'entretenir des équipements de travail ainsi que des bâtiments et autres constructions;

b. de livrer des équipements de travail[20] ou des matières dangereuses pour la santé;

c. de planifier ou de concevoir des procédés de travail.

Art. 34 Bruit et vibrations

1 Les bâtiments et parties de bâtiment doivent être aménagés de manière que le bruit ou les vibrations ne portent pas atteinte à la sécurité ou à la santé des travailleurs.

2 Les équipements de travail doivent être conçus de telle façon que le bruit ou les vibrations ne portent pas atteinte à la sécurité ou à la santé des travailleurs.

3 Les procédés de travail et de production doivent être conçus et appliqués de telle sorte que le bruit ou les vibrations ne portent pas atteinte à la sécurité ou à la santé des travailleurs.

Signalons enfin une autre base légale, à savoir la loi fédérale du 12 juin 2009 sur la sécurité des produits (LSPro). On y trouve notamment:

Art. 3 Principe

1 Peuvent être mis sur le marché les produits qui présentent un risque nul ou minime pour la santé ou la sécurité des utilisateurs ou de tiers lorsqu'ils sont utilisés dans des conditions normales ou raisonnablement prévisibles.

2 Les produits mis sur le marché doivent être conformes aux exigences essentielles en matière de santé et de sécurité visées à l'art. 4 ou, à défaut de telles exigences, correspondre à l'état des connaissances et de la technique.

3 Pour éviter d'exposer la santé et la sécurité des utilisateurs et de tiers à un risque, il doit être tenu compte:

...

Lors de la définition de valeurs limites afférentes aux immissions de bruit, on peut et on doit se baser sur ce principe.

Annexe 5

Valeurs limites du bruit dangereux pour l'ouïe
La Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents (Suva) évalue l'effet nocif pour l'ouïe du bruit au poste de travail selon les mêmes critères que les normes de l'Organisation internationale de normalisation (ISO).

Bruit
Si le niveau d'exposition au bruit L_{EX} calculé pour une journée de travail de 8 heures atteint ou dépasse 85 dB(A), il est nécessaire d'évaluer les risques auditifs et de prendre les mesures de protection nécessaires. Les mesures et autres valeurs limites (bruit impulsif) sont décrites à l'adresse www.suva.ch/86048.f.

Le modèle Suva
Les quatre piliers

La Suva est mieux qu'une assurance: elle regroupe la prévention, l'assurance et la réadaptation.

Les excédents de recettes de la Suva sont restitués aux assurés sous la forme de primes plus basses.

La Suva est gérée par les partenaires sociaux. La composition équilibrée du Conseil de la Suva, constitué de représentants des employeurs, des travailleurs et de la Confédération, permet des solutions consensuelles et pragmatiques.

La Suva est financièrement autonome et ne perçoit aucune subvention de l'État.



Suva
Case postale, 6002 Lucerne

Renseignements
Sécurité / santé au travail
Case postale, 1001 Lausanne
Tél. 021 310 80 40
service.clientele@suva.ch

Téléchargement
www.suva.ch/66027.f

Photo page de titre
Krüsi Maschinenbau AG

Titre
Mesurage des émissions acoustiques produites par les machines

Reproduction autorisée, sauf à des fins commerciales, avec mention de la source.
1re édition: mars 1987
Édition revue et corrigée: juillet 2022

Référence
66027.f (disponible uniquement au format pdf)