

Mesures de puissance acoustique en laboratoire : facteurs d'erreurs et estimation des incertitudes



*F. Fohr*¹, *B. Gazengel*²

1 : Centre de Transfert de Technologie du Mans
2 : Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine



www.ctm-lemans.com

Contexte

Puissance acoustique : grandeur intrinsèque indépendante des conditions d'environnement

Applications industrielles et méthodes de mesures normalisées

Les normes et la définition des incertitudes

Cas de l'isolation et comparaison avec simulations Maine

Cas de la puissance et comparaison de différentes méthodes

Cas des régénérations et questions sur les incertitudes cumulées

Le problème particulier des basses fréquences (dispersion temporelle et spatiale en salle réverbérante)

Le GUM et la méthode de propagation des incertitudes (exemple de la norme 3741 puissance en rvb)

Applications aspirateur (comparaison 9614-1 , 9614-2 et 3741)

→ l'incertitude donnée par la norme est bp trop importante

Questions sur la définition des incertitudes et essais interlabo

Applications

Bruit des équipements



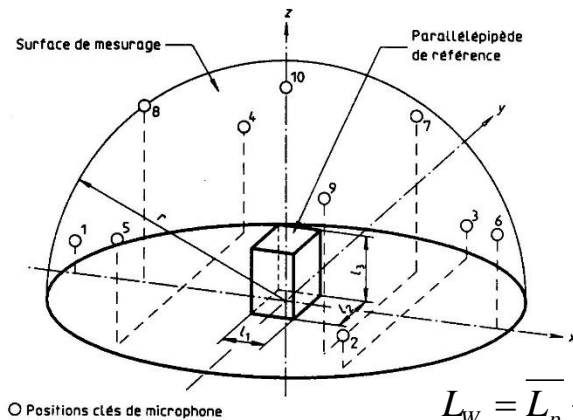
Norme ISO 3741 : 2012

Mesures en salle réverbérante

Incertitudes basées sur les essais
interlaboratoire

+ possibilité de modélisation suivant Guide
ISO/CEI 98-3 (GUM)

$$L_w(dB) = \overline{L_p} + 10 \cdot \log\left(\frac{A}{A_0}\right) + 4,34 \frac{A}{S} + 10 \cdot \log\left(1 + \frac{Sc}{8Vf}\right) + C_1 + C_2 - 6$$



$$L_w = \overline{L_p} + 10 \cdot \lg\left(\frac{S}{S_0}\right) (dB)$$

Norme ISO 3745 : 2013

Mesures en salle semi-anéchoïque

Incertitudes basées sur les essais
interlaboratoire

+ possibilité de modélisation suivant Guide
ISO/CEI 98-3 (GUM)

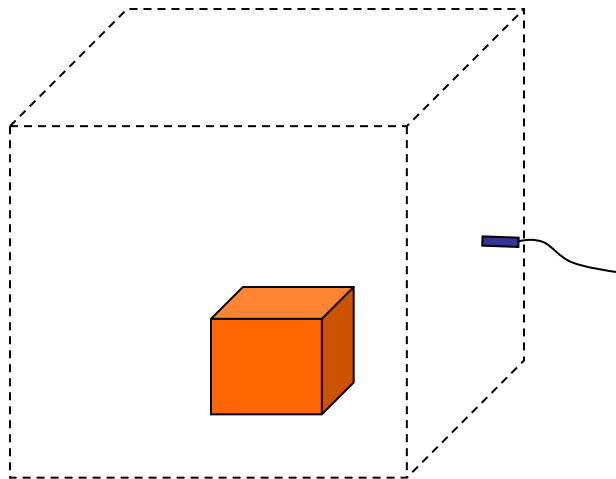
Applications

Bruit rayonné par des structures

Normes ISO 9614 : 1996

Mesures intensimétriques (par points ou par balayage)

Incertitudes : tableau de valeurs d'écart-types



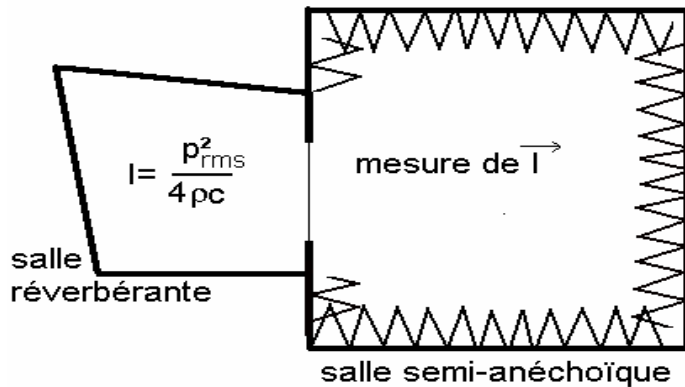
$$L_w = L_I + 10 \log_{10}(S)$$

L_I : intensité acoustique moyenne

S : surface balayée (parallélépipède)

Applications

Mesures d'isolation acoustique

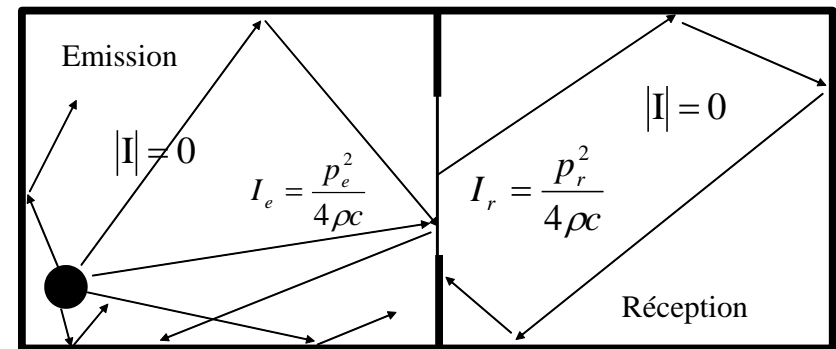


$$TL = 10 \log \left(\frac{W_i}{W_t} \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{(p_{rms}^2)_{\text{émission}}}{4\rho c} \frac{1}{I_{\text{réception mesurée}}} \frac{S_{\text{paroi}}^{\text{émission}}}{S_{\text{paroi}}^{\text{réception}}} \right)$$

Norme ISO 15186-1 : 2004

Mesures entre une salle réverbérante et une salle quelconque

Incertitudes basées sur les essais interlaboratoire



$$TL = L_{P_E} - L_{P_R} + 10 \text{Log} \left(\frac{S_{\text{paroi}}}{S_{\text{salle}} \bar{\alpha}_{\text{salle}} + S_{\text{paroi}} \tau} \right) \approx L_{P_E} - L_{P_R} + 10 \text{Log} \left(\frac{S_{\text{paroi}}}{A_{\text{salle}}} \right)$$

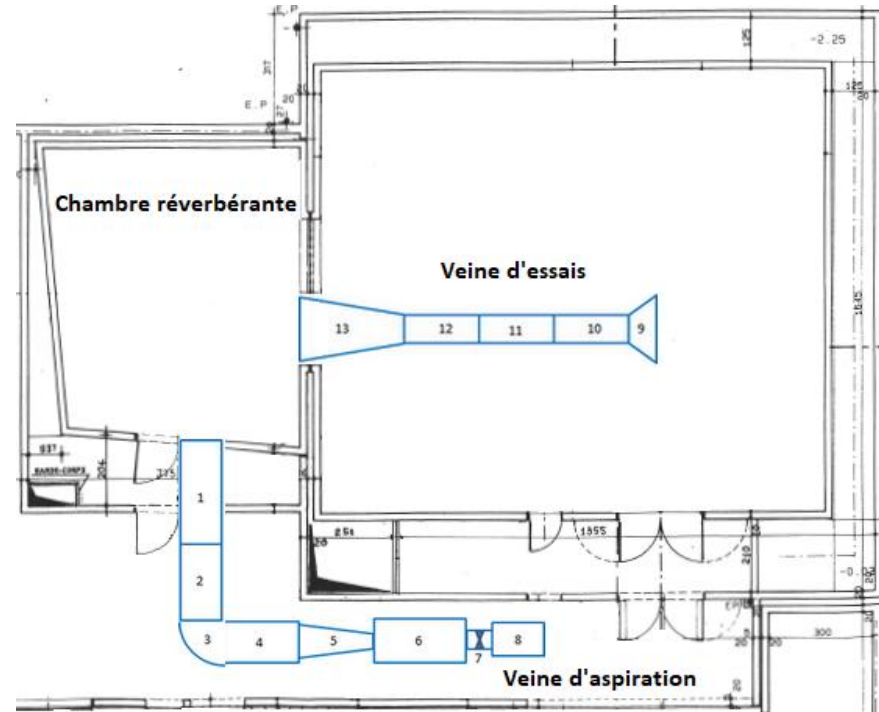
Norme ISO 140 : 2004

Mesures entre une salle réverbérante et une salle quelconque

Incertitudes basées sur les essais interlaboratoire

Applications

Mesures de bruits aérauliques régénérés par des silencieux ou registres en conduit



Norme ISO 7235 : 2009

Mesures en salle réverbérante (suivant ISO 3741)

Pas d'indication sur les incertitudes → article CETIAT

Exemple 1

Mesure de la puissance acoustique d'un aspirateur domestique

Mesure en salle réverbérante :
norme ISO 3741

Mesure en salle semi-anéchoïque :
norme ISO 3745

Evaluation des incertitudes suivant le guide ISO/CEI 98-3 (GUM)

Comparaison des résultats de mesure

Comparaison des méthodes d'évaluation des incertitudes



Exemple 1

Mesure de la puissance acoustique d'un aspirateur domestique

Intervalle de confiance : $Y = y \pm U$

Incertitude élargie : $U = k.U_c(y)$

k : facteur d'élargissement

$U_c(y)$ incertitude-type composée

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

loi de propagation des incertitudes (hypothèse de grandeurs non corrélées) :

$$U_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)$$

$\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)$ coefficient de sensibilité qui pondère l'incertitude-type $u(x_i)$ de la grandeur d'entrée x_i

- Type A : évaluation statistique sur une série de mesures
- Type B : évaluation plus empirique fondée sur l'expérience spécifications techniques

Application

Mesure en salle réverbérante : norme ISO 3741

$$L_w (dB) = \overline{L}_p - K_1 + 10 \cdot \log\left(\frac{A}{A_0}\right) + 4,34 \frac{A}{S} + 10 \cdot \log\left(1 + \frac{Sc}{8Vf}\right) - 25 \cdot \log\left(\frac{423}{400} \sqrt{\frac{273}{273 + \theta}} \cdot \frac{B}{B_0}\right) - 6$$

$$U_c^2(L_w) = \left(1 + \frac{10^{-\Delta L/10}}{1 - 10^{-\Delta L/10}}\right)^2 \cdot u^2(\overline{L}_p) + \left(\frac{10^{-\Delta L/10}}{1 - 10^{-\Delta L/10}}\right)^2 \cdot u^2(\overline{L}_p'') + \left(\left(\frac{10}{\ln 10} + \frac{4,34}{S} \cdot A\right) \cdot \frac{1}{T_r}\right)^2 \cdot u^2(T_r)$$

L_w	niveau de puissance acoustique de la source en essai par bandes de fréquences (dB - réf : 10^{-12} Watts)
	niveau moyen de pression acoustique de la source en essai par bandes de fréquences (dB - réf : $2 \cdot 10^{-5}$ Pa)
K_1	Correction de bruit de fond
A	aire équivalente d'absorption acoustique de la salle (m^2) avec la source à l'arrêt
A_0	$= 1 m^2$
S	surface développée de la salle réverbérante ($307 m^2$)
V	volume de la salle réverbérante ($345 m^3$)
f	fréquence médiane de bande (Hz)
c	vitesse du son à la température θ : (m/s)
θ	température ($^{\circ}C$)
B	pression atmosphérique (Pa)
B_0	$= 10^5$ Pa
ΔL	$\Delta L = \overline{L}_p - \overline{L}_p'$ niveau de pression moyen – niveau de bruit de fond moyen

$$U_c^2(\overline{L}_p) = \sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{P_i^2}{\sum_{k=1}^N P_i^2} \right)^2 u^2(L_i) \right]$$

$$u^2(T_i) = \frac{\sigma^2(T_i)}{n} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (T_{i,k} - \overline{T}_i)^2$$

Application

Mesure en salle réverbérante : norme ISO 3741

$$L_w = \bar{L}_p + 10 \cdot \log \left(1 - 10^{-\frac{(\bar{L}_p - \bar{L}_p'')}{10}} \right) - K_2 + 10 \cdot \log(S)$$

\bar{L}_p niveau de pression acoustique moyen sur l'ensemble de la surface de mesure

\bar{L}_p'' niveau de bruit de fond sur la surface de mesure

K_2 correction de bruit de fond

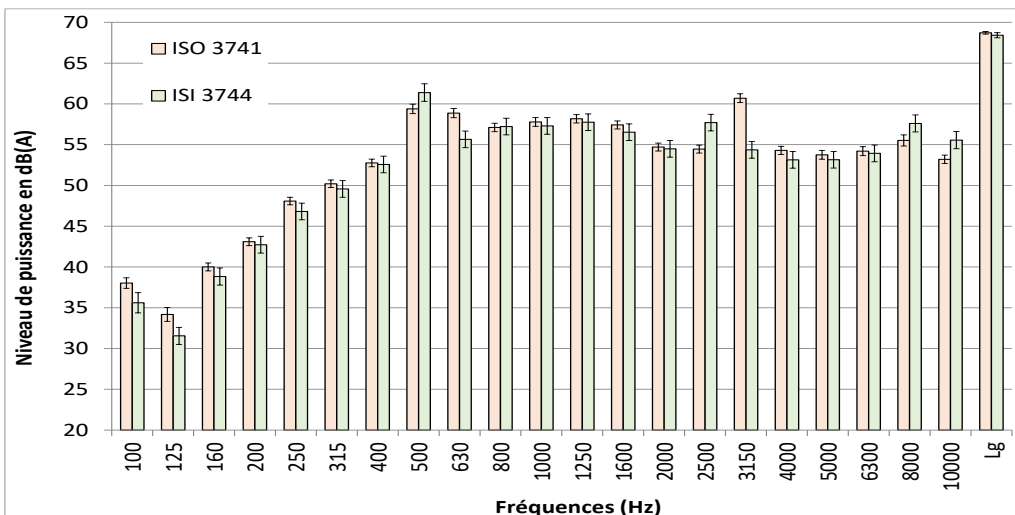
$$U_c^2(L_w) = \left(\frac{\partial F}{\partial \bar{L}_p} \right)^2 \cdot u^2(\bar{L}_p) + \left(\frac{\partial F}{\partial \bar{L}_p''} \right)^2 \cdot u^2(\bar{L}_p'') + \left(\frac{\partial F}{\partial K_2} \right)^2 \cdot U_c^2(K_2) + \left(\frac{\partial F}{\partial r} \right)^2 \cdot u^2(r) = A + B + C + D$$

$$A = \left(1 + \frac{10^{-\Delta L/10}}{1 - 10^{-\Delta L/10}} \right)^2 \cdot u^2(\bar{L}_p) \quad B = \left(\frac{10^{-\Delta L/10}}{1 - 10^{-\Delta L/10}} \right)^2 \cdot u^2(\bar{L}_p'')$$

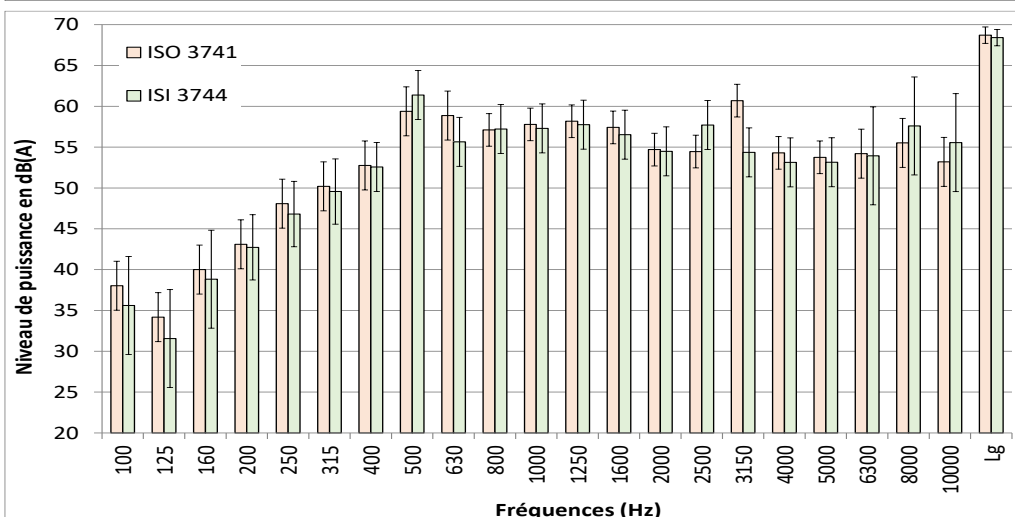
$$C = U_c^2(K_2) = \left(\frac{\partial H}{\partial L_w^*} \right)^2 \cdot U_c^2(L_w^*) + \left(\frac{\partial H}{\partial L_{wr}} \right)^2 \cdot U_c^2(L_{wr}) = U_c^2(L_w^*) + U_c^2(L_{wr}) \quad D = \left(\frac{20}{r \cdot \ln(10)} \right)^2 \cdot u^2(r)$$

Application

Résultats des mesures



Incertitude évaluée suivant le guide
ISO/CEI 98-3



Incertitude évaluée à partir des
essais interlaboratoire

Exemple 2

Mesure de la puissance acoustique d'une Dremel

Mesure en salle
réverbérante :
norme ISO 3741



Mesure intensimétrique
par balayage :
Norme ISO 9614

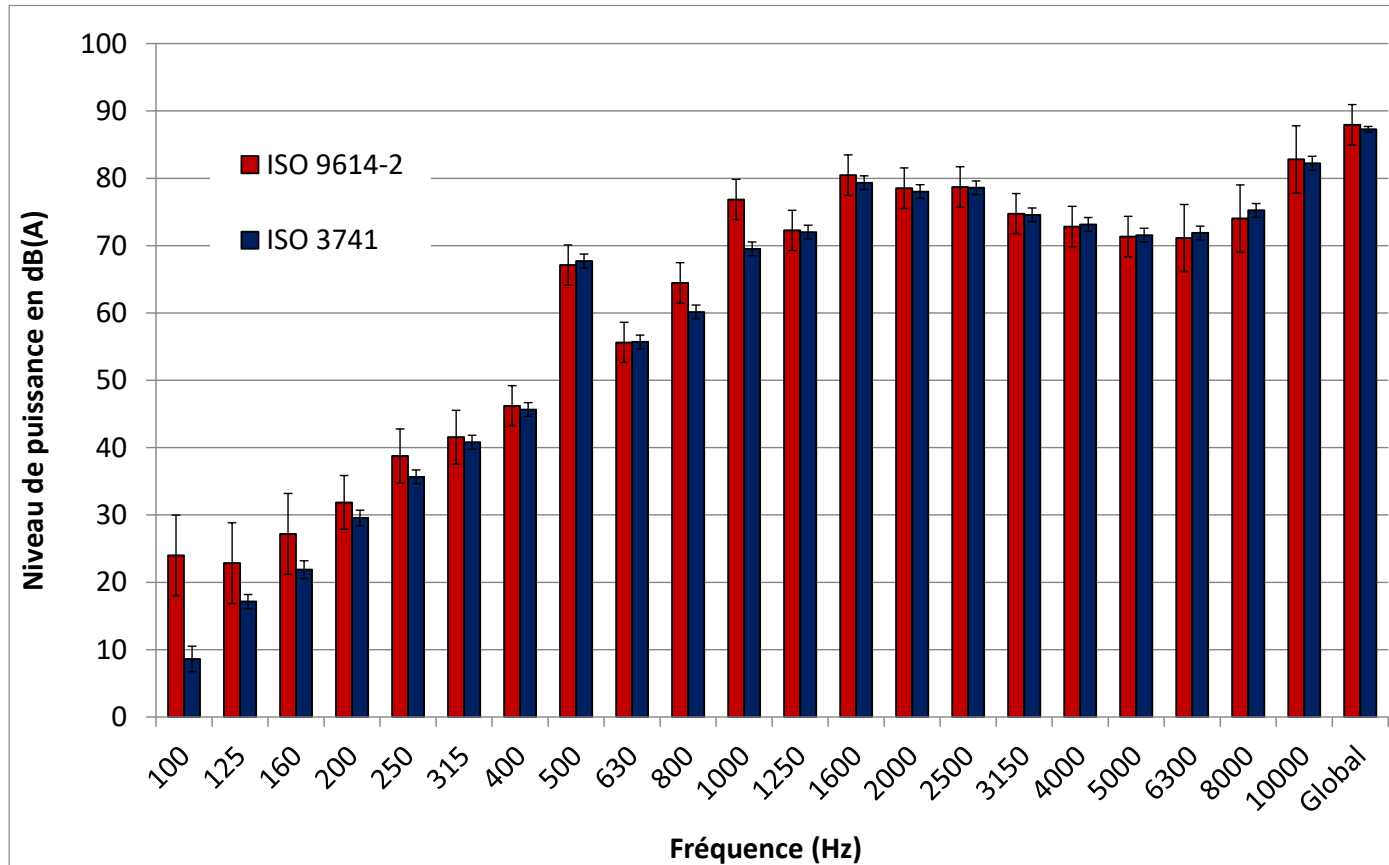
Evaluation des
incertitudes suivant le
guide ISO/CEI 98-3
(GUM)

Evaluation des
incertitudes à partir des
indications de la norme

Comparaison des résultats de mesure
Comparaison des méthodes d'évaluation des incertitudes

Exemple 2

Mesure de la puissance acoustique d'une Dremel



Incertitude et erreurs de mesure

Exemple isolation et fuites

Intensimétrie et critères de qualité de la mesure

Que devient l'incertitude lorsque le rapport signal sur bruit diminue