

# Estimer les incertitudes des mesures acoustiques en laboratoire

## To estimate the uncertainties of laboratory acoustic measurements

**François BESSAC,**  
Ingénieur acousticien,

**Bertrand BLANQUART,**  
**Jean VINCENT,**  
Ingénieurs métrologues,

CETIAT,  
Domaine Scientifique de la Doua,  
25, avenue des Arts,  
BP 2042,  
69603 Villeurbanne CEDEX,  
tél. : 04 72 44 49 00,  
fax : 04 72 44 49 99,  
e-mail : francois.bessac@cetiat.fr

*Cet article présente la démarche d'estimation des incertitudes de mesure acoustiques en laboratoire selon l'approche généraliste préconisée par l'ISO, "Guide pour l'expression des incertitudes de mesure" (GUM). Après le rappel des principes de la méthode, le calcul est appliqué à l'estimation de l'incertitude sur la mesure du niveau de puissance acoustique de bouches d'extraction de VMC en salle réverbérante. La relation de propagation des incertitudes est développée, montrant l'importance respective des incertitudes-types et des coefficients de sensibilité. Leur analyse permet d'identifier les causes principales d'incertitude et aussi leur impact sur l'incertitude associée au niveau acoustique global, elle-même calculée selon une démarche identique.*

*This paper presents the approach to estimate the uncertainties of laboratory acoustic measurements, according to ISO "Guide to the expression of uncertainty in measurement". First, one reminds the principles of the method. Then, the calculation is applied to the sound power measurement of air exhaust devices in a reverberation room. The relation of uncertainty propagation is developed, showing the importance of both uncertainty and sensibility coefficients. Their analyse allows one to identify the main origins of the uncertainty and then their influence on the uncertainty associated to overall sound level, itself calculated according to the same approach.*

**B**

ien ancré dans le monde de la métrologie des longueurs, masses, températures, etc., le concept d'incertitude de mesure n'a jamais suscité de grande passion chez les acousticiens, probablement à cause de l'utilisation du décibel comme unité de mesure des pression ou puissance acoustiques. Cependant, l'incertitude de mesure étant définie comme le "paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande", cette définition n'implique aucune restriction sur la nature du mesurande, ce qui autorise naturellement son application à l'acoustique.

Conscient des enjeux liés à ce thème, le Comité Technique 43 "Acoustique" de l'ISO a considéré le thème de l'incertitude comme central pour les années à venir et a pris la décision d'insérer une partie consacrée aux incertitudes de mesure dans les normes de base de mesure acoustique<sup>1</sup>. De plus, ce groupe de travail a clairement indiqué que la méthode décrite dans le "Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure" (ENV 13005 de mai 1999) devrait être prise comme la démarche de référence.

Pour n'importe quel laboratoire (acoustique ou non), la connaissance des incertitudes de mesure est indispensable car celles-ci fournissent une indication quantitative sur la qualité du résultat de mesure. Sans elles, la comparaison de résultats d'essais réalisés selon une norme n'a que peu de sens. Elles sont de plus exigées dans le cas

d'accréditation de laboratoire selon la norme EN 17025, et plus que recommandées dans le cadre d'essais de certification.

L'objet de cet article est d'explicitier la démarche du "Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure" et de montrer que son application à des mesures acoustiques est possible sans difficulté insurmontable. Depuis plusieurs années, le CETIAT a procédé à ces calculs d'incertitudes sur différents types de mesures de laboratoire : isolement acoustique d'entrées d'air de ventilation, niveau de puissance acoustique en conduit de ventilateurs en caisson, niveau de puissance acoustique de climatiseurs et de bouches d'extraction d'air de ventilation en chambre réverbérante. Ce dernier cas servira d'illustration de la démarche.

### Les principes du "GUM"

#### L'esprit

Le "Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure", surnommé "GUM", a été élaboré par un groupe d'experts désignés par le BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) ; il établit les règles générales pour l'évaluation et l'expression des incertitudes de mesure. Ce guide est destiné à couvrir de nombreuses applications telles que les essais, les activités de R&D, le respect des

réglementations ou bien encore les activités d'étalonnage et le raccordement métrologique aux références nationales, quel que soit le domaine considéré et quelles que soient les grandeurs mesurées (mesures électriques, dimensionnelles, d'environnement...).

Ce document présente une démarche universelle pouvant s'appliquer à tous les types de mesurage. En conséquence, il ne donne pas d'instructions spécifiques à un domaine particulier ; il est donc impératif de s'appuyer sur les normes spécifiques au domaine considéré pour mettre en pratique la démarche.

## La démarche

La démarche décrite dans le "GUM" pour exprimer l'incertitude de mesure repose sur la modélisation de la grandeur à mesurer (mesurande), sous la forme d'une fonction :

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N) \quad (1)$$

où  $y$  est la grandeur de sortie, dont on cherche à déterminer l'incertitude associée, et les  $x_i$  sont les grandeurs d'entrée, qui peuvent elles-mêmes être issues d'un processus de mesure (que l'on pourra alors écrire sous la forme d'une relation fonctionnelle de la même forme que l'équation 1).

La fonction  $f$  peut être une relation analytique explicite ou être déterminée de manière expérimentale. Des grandeurs d'entrée supplémentaires peuvent être introduites pour tenir compte de l'influence des paramètres d'ambiance (température, humidité, pression, etc.) ou pour tenir compte de corrections, par exemple pour corriger des erreurs systématiques liées à la méthode ou aux instruments de mesure. Une loi de composition permet ensuite d'exprimer l'incertitude-type composée  $u_c(y)$  sur la grandeur  $y$  en fonction des incertitudes-types sur les grandeurs d'entrée  $u(x_i)$ .

Dans le cas le plus général, la loi de propagation des incertitudes s'écrit de la manière suivante :

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1, N} \left[ \sum_{j=1, N} \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \cdot u(x_i, x_j) \right] \quad (2)$$

Si les grandeurs d'entrée sont identifiées comme étant indépendantes, la relation devient :

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1, N} \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad (3)$$

1- L'ISO TC43 a chargé son Groupe de Travail 28, chargé des normes sur le mesurage et la déclaration du bruit des machines au sein du Sous-Comité 1 "bruit", d'un travail d'éclaircissement sur le sujet. La commission AFNOR S30B est le miroir français de ce Groupe de Travail. Le CEN fait explorer la question de manière générale (non exclusivement acoustique) au niveau du Bureau Technique du CEN par un Groupe de Travail créé pour l'occasion, le WG 122.

où  $\left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)$  représente le coefficient de sensibilité qui pondère l'incertitude-type  $u(x_i)$  de la variable  $x_i$ .

Les incertitudes-types  $u(x_i)$  peuvent être déterminées par deux méthodes. La méthode de type A est basée sur une approche statistique, par exemple l'exploitation de mesures répétées et le calcul de l'écart-type expérimental. Lorsque le nombre de résultats expérimentaux est réduit voire inexistant, il convient d'appliquer la méthode de type B qui repose sur l'exploitation de ces résultats et/ou de données issues des sources documentaires (certificat d'étalonnage, notice de constructeur, fiche de vie de l'instrument de mesure, etc.).

Lorsque l'incertitude-type  $u_c$  du mesurande  $y$  est déterminée, le résultat de la mesure s'exprime sous la forme suivante :

$$y \pm k u_c(y) \quad (4)$$

où  $U = k u_c(y)$  est appelé "incertitude élargie". Le coefficient d'élargissement  $k$  prend conventionnellement la valeur 2, ce qui correspondrait à un intervalle de confiance de 95% dans le cas d'une loi de distribution normale (un intervalle de confiance de 99% conduit à choisir  $k = 3$ ).

## Exemple de calcul d'incertitude sur la mesure de puissance acoustique en chambre réverbérante

### Mesure normative

Des évaluations d'incertitude ont été réalisées au CETIAT sur différentes mesures et différents matériels ; la démarche de détermination de l'incertitude, telle qu'elle est définie dans le "GUM", est mise en œuvre ici sur une application particulière, la mesure du niveau de puissance acoustique généré par une bouche d'extraction d'air de ventilation en chambre réverbérante, suivant la norme NF E 51-701.

La méthode de mesure consiste à installer la bouche d'extraction en une position définie de la chambre réverbérante et à maintenir une différence de pression de part et d'autre de la bouche (ce qui induit un certain débit d'air). Un ventilateur placé en aval du dispositif d'essai crée la dépression tandis que le point de fonctionnement aérodynamique est contrôlé au moyen de la mesure de la différence de pression  $P_{ch} - P_2$  (cf. Fig. 1 page 34).

La bouche étant installée, la mesure du niveau de puissance acoustique de la bouche d'extraction est réalisée, en l'occurrence par la méthode par comparaison avec une source sonore de référence, selon la norme EN 23741. La procédure de mesure prévoit la détermination préalable du niveau de bruit de fond, sans la bouche dans son orifice, mais avec un débit d'air sensiblement égal extrait par le conduit ouvert.

### Modélisation du résultat

Du point de vue acoustique, la relation suivante permet de déterminer le niveau de puissance acoustique de la bouche d'extraction  $L_w^{bc}$ .

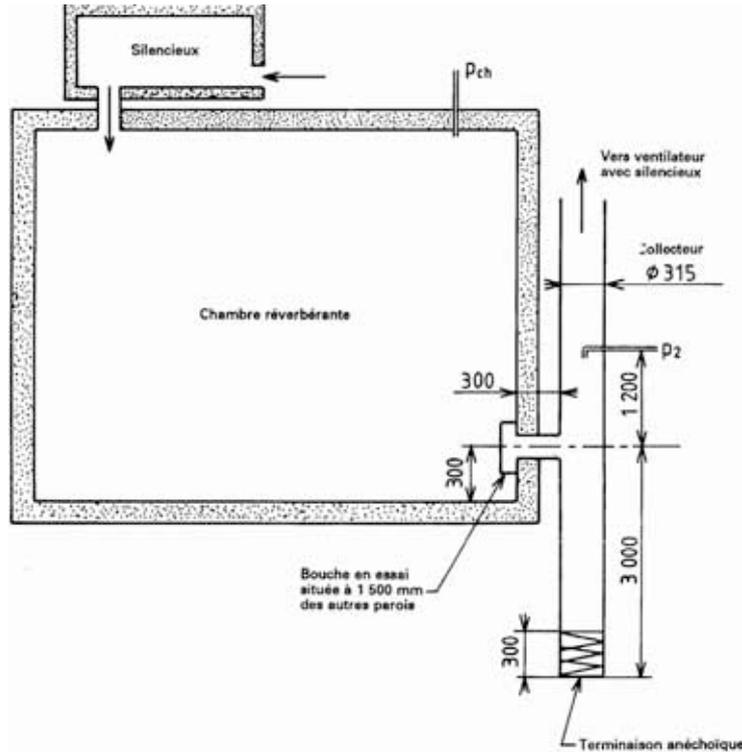


Fig. 1 : schéma de montage de la bouche d'extraction dans la chambre réverbérante (extrait de la norme NF E 51-701)

$$L_w^{be} = L_w^{SSR} - (L_p^{SSR} - L_p^{be}) \quad (5)$$

$$L_p^{be \text{ mesuré}}, L_p^{\text{bruit de fond}}, L_p^{SSR}, L_w^{SSR}$$

où  $L_w^{SSR}$  est le niveau de puissance acoustique de la source sonore de référence obtenu par étalonnage,  $L_p^{SSR}$  et  $L_p^{be}$ , les niveaux de pression acoustique moyens générés respectivement par la source sonore de référence et par la bouche d'extraction d'air en essai.

Le niveau de pression acoustique mesuré  $L_p^{be \text{ mesuré}}$  est éventuellement corrigé du bruit de fond par la relation suivante :

$$L_p^{be} = 10 \text{Log} \left( 10^{L_p^{be \text{ mesuré}}/10} - 10^{L_p^{\text{bruit de fond}}/10} \right) \quad (6)$$

Selon la norme EN 23741, une correction de bruit de fond doit être appliquée si l'écart au bruit de fond est compris entre 6 et 10 dB. Pour simplifier l'approche dans le cadre de cet article, la correction du bruit de fond est appliquée dès que l'écart au bruit de fond est supérieur à 6 dB, sans limite supérieure puisque cette correction tend naturellement vers zéro lorsque l'écart augmente.

Des relations (5) et (6) et de la procédure de mesure décrite précédemment, une liste de variables indépendantes peut être établie :

Cette liste de variables suppose que le bruit de fond mesuré avec le débit d'air est utilisé aussi bien pour corriger le niveau de pression acoustique de la bouche d'extraction que celui de la source sonore de référence. Cela n'a guère d'importance puisque le niveau de pression acoustique de la source sonore de référence ne subit jamais la correction du bruit de fond, étant donné leurs niveaux sonores respectifs toujours séparés de plus de 20 dB.

### Loi de propagation de l'incertitude

La détermination de l'incertitude-type associée à  $L_w^{be}$  suppose d'en établir la relation avec les incertitudes-types des variables indépendantes,  $u(L_p^{be \text{ mesuré}})$ ,  $u(L_p^{\text{bruit de fond}})$ ,  $u(L_p^{SSR})$ ,  $u(L_w^{SSR})$ . L'application de la relation (3) avec les variables indépendantes identifiées conduit à :

$$u_c^2(L_w^{be}) = \left( \frac{\partial L_w^{be}}{\partial L_p^{be \text{ mesuré}}} \right)^2 u^2(L_p^{be \text{ mesuré}}) + \left( \frac{\partial L_w^{be}}{\partial L_p^{SSR}} \right)^2 u^2(L_p^{SSR}) + \left( \frac{\partial L_w^{be}}{\partial L_p^{\text{bruit de fond}}} \right)^2 u^2(L_p^{\text{bruit de fond}}) + \left( \frac{\partial L_w^{be}}{\partial L_w^{SSR}} \right)^2 u^2(L_w^{SSR}) \quad (7)$$

On dispose d'une relation entre l'incertitude du niveau de puissance acoustique de la bouche d'extraction et les incertitudes-types des variables indépendantes, celles-ci étant pondérées par leurs coefficients de sensibilité.

Tout calculs faits, on obtient :

$$\begin{aligned}
 u_c^2(L_w^{be}) = & \left( 10^{0,1(L_p^{be\ mesur\ e} - L_p^{be})} \right)^2 u^2(L_p^{be\ mesur\ e}) \\
 & + (-1)^2 u^2(L_p^{SSR}) \\
 & + \left( 10^{0,1(L_p^{bruit\ de\ fond} - L_p^{be})} \right)^2 u^2(L_p^{bruit\ de\ fond}) \\
 & + (1)^2 u^2(L_w^{SSR})
 \end{aligned} \tag{8}$$

L'hypothèse d'indépendance entre le niveau de pression acoustique de la source sonore de référence et le bruit de fond se vérifie ici par un coefficient de sensibilité unitaire de  $u(L_p^{SSR})$ .

**Coefficients de sensibilité**

Le coefficient de sensibilité pondère l'incertitude-type d'une variable indépendante en fonction de sa relation avec la grandeur de sortie (loi de propagation des incertitudes). Dans le cas étudié,  $L_p^{bruit\ de\ fond}$  et  $L_p^{be\ mesur\ e}$  sont pondérés par des coefficients de sensibilité qui dépendent de l'écart au bruit de fond ou de l'écart entre le niveau de pression mesuré et corrigé.

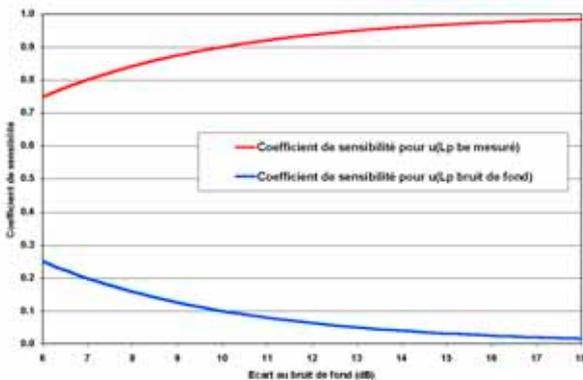


Fig. 2 : coefficients de sensibilité

La Fig. 2 montre l'évolution de ces deux coefficients en fonction de l'écart avec le bruit de fond. Leur somme est toujours égale à un ; plus l'écart au bruit de fond diminue, plus la contribution de l'incertitude associée au bruit de fond prend de l'importance tandis que celle du niveau de pression acoustique mesuré  $L_p^{be\ mesur\ e}$  diminue.

**Détermination des incertitudes-types**

L'étape suivante consiste à identifier puis à quantifier les composantes des incertitudes-types des variables indépendantes. Pour chacune d'elles, il faut lister tous les facteurs possibles d'incertitudes. On peut distinguer plusieurs causes d'incertitude :

- la chaîne de mesure proprement dite (réponse de la chaîne de mesure, influence du calibrage, variabilité de la chaîne de mesure, étalonnage, etc.)
- la méthode de mesure (modification éventuelle de la position des microphones dans la salle, position de la source sonore de référence, etc.)
- la mise en œuvre du produit soumis à l'essai (par exemple, influence sur la mesure acoustique du réglage du point de fonctionnement du débit d'air extrait, montage de la bouche dans son orifice, etc.)

La détermination des composantes des incertitude-types s'appuie sur les deux méthodes proposées par le GUM :

- la méthode A, statistique, est utilisée par exemple pour estimer la variabilité de la mesure du niveau de pression acoustique de la source sonore de référence et du bruit de fond.
- la méthode type B, est appliquée notamment pour l'incertitude liée à l'étalonnage de la source sonore de référence et pour la résolution de la chaîne de mesure.

L'ensemble des composantes est exprimé sous forme d'écart-types qui sont combinés pour donner l'incertitude-type de la variable indépendante xi concernée.

$$u(x_i) = \sqrt{\sum_i \sigma^2(\text{composantes})} \tag{9}$$

L'analyse de la procédure de la mesure est d'une importance capitale car elle va permettre de déterminer quelles composantes entrent dans la composition des incertitudes-types. L'importance relative des composantes représente un moyen précieux de détecter des postes prépondérants dans l'incertitude-type des variables indépendantes, donc éventuellement de procéder à une action corrective.

**Exemple de résultats**

Pour illustrer le propos, un spectre d'incertitude est donné ; les valeurs indiquées dépendent bien évidemment des performances absolues du produit testé, en l'occurrence une bouche de référence, c'est-à-dire un simple trou précisément calibré. L'absence d'organe régulateur de débit d'air qui équipe les bouches d'extraction du commerce permet d'assurer la pérennité et la répétabilité de fonctionnement de l'élément tout en présentant un fonctionnement assez proche d'une bouche réelle.

La Fig. 3 présente les incertitudes-types des variables indépendantes. On remarque l'importance de l'incertitude-type du bruit de fond aux basses fréquences, imputable pour une très large part à sa variabilité (renforcée par le débit d'air) ; à l'inverse, l'incertitude-type du niveau de pression acoustique de la source sonore de référence est particulièrement faible car la source est très stable.

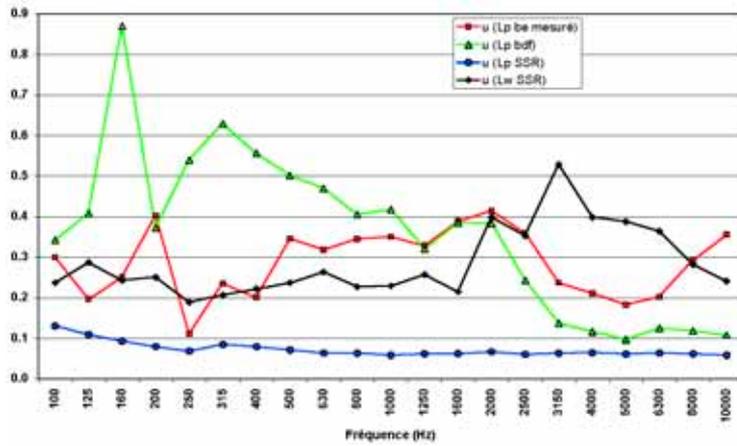


Fig. 3 : incertitude-type des variables indépendantes

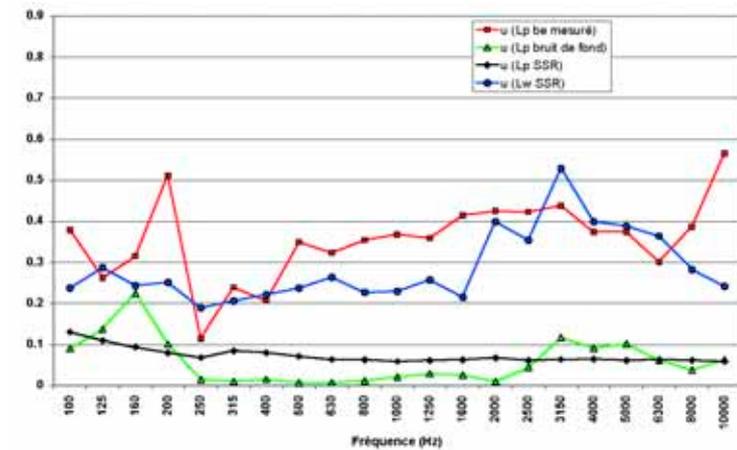


Fig. 4 : incertitude-type pondérée des variables indépendantes

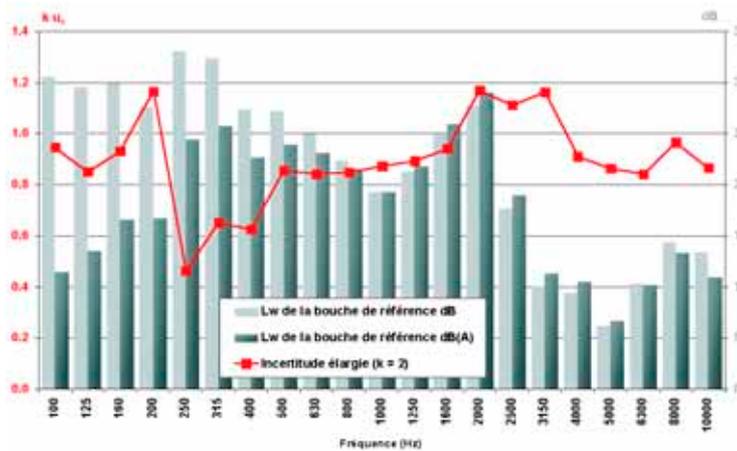


Fig. 5 : représentation conjointe de l'incertitude élargie (k = 2) et du niveau de puissance acoustique de la bouche de référence

La Fig. 4 présente les incertitudes-types des variables indépendantes, mais pondérées par les coefficients de sensibilité qui dépendent de l'écart au bruit de fond, donc des performances absolues du produit de référence. Ce sont donc les quatre composantes de l'incertitude du niveau de puissance acoustique de la bouche d'extraction de référence.

On constate que, contrairement à la Fig. 3, la composante du bruit de fond est pratiquement nulle sur tout le spectre, à l'exception de quelques fréquences où la mesure est corrigée du bruit de fond.

C'est l'effet de la pondération du coefficient de sensibilité. Par conséquent, dans ce cas précis, la composante de la mesure du niveau de pression acoustique de la bouche prend de l'importance pratiquement à égalité avec l'étalonnage de la source sonore de référence. L'éventuelle amélioration de la qualité de la mesure passe évidemment par ces deux parties de la mesure, donc une analyse fine de chacune des composantes des incertitudes-types concernées.

La Fig. 5 présente sur un même graphique (sur 2 échelles différentes), l'incertitude élargie (k = 2) et le spectre de puissance acoustique de la bouche de référence. dans cet intervalle.

On constate que les mesures de puissance acoustique par bande de tiers d'octave sont réalisées en moyenne à ± 0,9 dB (de ± 0,5 à ± 1,2 dB), c'est-à-dire que la répétition de ces mesures dans les mêmes conditions de reproductibilité intra-laboratoire conduirait, 19 fois sur 20 à un résultat compris dans ces intervalles.

### Calcul de l'incertitude associée au niveau acoustique global

Le calcul précédent a permis de déterminer l'incertitude associée à chaque valeur de spectre. L'incertitude associée à la valeur globale peut se déduire des valeurs de spectre, en appliquant encore une fois la démarche du "GUM".

En effet, la somme logarithmique est la fonction qui relie les différentes valeurs du spectre (les variables indépendantes) avec le niveau global. On peut en déduire l'expression de propagation des incertitudes :

$$u^2(L_w^{(total)}) = \sum \left[ \frac{\partial \left( 10 \log_{10} \left( \sum 10^{L_{w,i}/10} \right) \right)}{\partial L_{w,i}} \right]^2 u^2(L_{w,i}) = \sum \left[ \frac{10^{L_{w,i}/10}}{\sum 10^{L_{w,i}/10}} \right]^2 u^2(L_{w,i}) \quad (10)$$

Les termes  $u^2(L_{w,i})$  correspondent aux incertitudes calculées précédemment pour chaque valeur de spectre. Le coefficient de sensibilité est proportionnel à la puissance de la bande de fréquence considérée divisée par la puissance globale.

De cette manière, les incertitudes associées à des bandes de fréquences qui ont un poids faible ou nul dans le niveau global affecteront peu l'incertitude du niveau global. Logiquement, si une bande de fréquence est très dominante, son incertitude se transmettra intégralement sur l'incertitude associée au niveau global.

Les calculs précédents conduisent à exprimer le résultat global sous la forme suivante:

$$L_w = 40,0 \pm 0,3 \text{ dB}$$

$$L_{w,A} = 34,9 \pm 0,4 \text{ dB(A)}$$

L'incertitude associée au niveau global en dB(A) est plus importante qu'en dB car d'une part le niveau acoustique à 2000 Hz a plus de poids en dB(A) qu'en dB par rapport au niveau global et d'autre part, l'incertitude à cette fréquence est pratiquement à son maximum.

## Généralisation des résultats des calculs d'incertitude

On peut se poser la question de la généralisation d'un calcul d'incertitude réalisé sur une installation d'essai avec un type de matériel, à d'autres matériels testés sur la même installation. Lors de ce calcul, toutes les composantes de l'incertitude sont prises en compte, de la chaîne de mesure à la mise en œuvre. Or cette dernière peut conduire à des composantes très différentes selon les types de machines testées.

Par exemple, la mesure du niveau sonore d'un bouche d'extraction, de position géométrique figée et avec la particularité qui consiste à mesurer le bruit de fond avec débit d'air ne subit pas les mêmes contraintes que le niveau sonore d'un climatiseur, de taille et de position variables, soumis à des températures de fonctionnement spécifiques. Cela montre donc qu'il est impératif de mener un calcul spécifique pour chaque type de produit caractérisé et qu'un calcul général d'incertitude sur une installation d'essai polyvalente a bien peu de sens.

La seconde problématique soulevée par la généralisation concerne la représentativité d'un calcul d'incertitude mené sur un appareil de référence. On a constaté dans l'exemple traité que l'écart entre le bruit mesuré et le bruit de fond jouait sur les coefficients de sensibilité. Si la bouche avait présenté un niveau plus élevé de 20 dB, le résultat du calcul d'incertitude aurait été différent. Cela signifie que le niveau de performance absolu devrait être connu pour extrapoler le résultat du calcul d'incertitude de l'appareil de référence à l'appareil réel.

Cela n'est pas si simple car un autre problème entre en ligne de compte ; la composition du spectre et plus particulièrement les raies spectrales. Une raie spectrale est généralement très fluctuante ; si son niveau est important, la bande de fréquence associée est elle aussi fortement fluctuante. Cela conduit systématiquement à une plus grande incertitude de la composante associée du fait

de la variabilité du signal. Si cette bande de fréquence est également prépondérante dans le spectre, la forte incertitude de la bande se propage à l'incertitude du niveau global.

La variabilité de la bande est propre au produit ; l'incertitude qui en découle aussi. Il ne serait pas raisonnable d'extrapoler le résultat d'incertitude obtenu sur une source sonore émettant un spectre "bruit blanc" très propre à un produit réel présentant des raies spectrales ou bandes tonales très marquées.

Pour ce qui est de l'annonce des incertitudes de mesure, deux niveaux de choix sont possibles.

- On peut annoncer l'incertitude du banc d'essai, incertitude calculée avec un produit de référence. C'est une valeur qui n'a qu'une fonction indicative et surtout qui ne doit pas être associée à un produit testé réel pour donner son incertitude de mesure.

- Si, à la suite d'un calcul d'incertitude réalisé avec un produit de référence, on veut connaître l'incertitude de mesure d'un produit particulier, il est indispensable de réaliser une série d'essais de répétabilité sur le produit lui-même (méthode de type A). Heureusement, tous les calculs ne sont pas à refaire car de nombreuses composantes des incertitudes-types, indépendantes de la forme du spectre sonore du produit, sont déjà caractérisées.

## Conclusions

Les travaux menés au CETIAT montrent que l'estimation des incertitudes de mesures acoustiques en suivant la démarche du "Guide pour l'expression des incertitudes de mesure" est possible. Cet article en présente un exemple d'illustration à la mesure du niveau de puissance acoustique de bouche d'extraction d'air de ventilation en salle réverbérante.

Cette méthode analytique proposée par le GUM est très intéressante car elle fournit de précieuses informations sur l'origine des incertitudes et sur le poids des composantes respectives, donnant ensuite des pistes d'amélioration de la qualité des mesures.

Pour cela, une analyse rigoureuse des phénomènes physiques et des modes opératoires doit être réalisée pour sélectionner et quantifier toutes les composantes pertinentes de l'incertitude. Cette étape doit être extrêmement soignée car le calcul qui est réalisé ensuite ne fournit que l'image des données d'entrée, image déformée si une composante importante est mésestimée ou si des composantes redondantes (donc non indépendantes) sont sélectionnées. Il n'existe donc pas de solution unique, mais une solution en rapport avec une analyse.

Le calcul de l'incertitude de mesure associée à la valeur globale de puissance acoustique explicite l'influence de la composition du spectre sur le résultat d'incertitude. Il rappelle également qu'annoncer une incertitude de mesure d'un produit particulier passe par des essais spécifiques sur ce produit ; la généralisation des estimations d'incertitudes effectuées sur un système de référence n'est pas possible.

Il existe une autre méthode d'estimation des incertitudes de mesures. Encadrée par la série des normes ISO 5725, elle s'appuie sur une approche exclusivement expérimentale de répétitions d'essais pour estimer l'exactitude (justesse et fidélité) des méthodes et des résultats de mesure. Ainsi, elle permet d'estimer expérimentalement les incertitudes d'un mesurande dans un laboratoire (la méthode du GUM poursuit le même but mais avec des moyens différents). En revanche, elle est la seule pour définir ensuite une procédure pour réaliser des comparaisons inter-laboratoires, de manière à évaluer la justesse de la méthode d'essai.

La différence d'approche de la méthode GUM avec la norme ISO 5725 pourrait correspondre à la différence d'informations obtenues entre respectivement une mesure par intensimétrie et une mesure en chambre réverbérante ; les deux fournissent le spectre de puissance acoustique mais l'intensimétrie (GUM) donne des informations supplémentaires, comme la répartition des sources.

Le travail des prochaines années est probablement de développer une "adaptation" du GUM au domaine de l'acoustique, validée par des études inter-laboratoires.

## Remerciements

Nous tenons à remercier les fabricants de matériels aérauliques et thermiques pour leur intérêt constant sur le sujet et leur soutien financier au travers du programme d'études collectives que mène pour eux leur centre technique, le CETIAT.

## Références bibliographiques

NF ENV 13005 de mai 1999 : "Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure"

NF EN ISO/CEI 17025 de mai 2000 : "Prescriptions générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais"

NF EN 23741 de février 1992 : "Acoustique - Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit. Méthodes de laboratoire en salles réverbérantes pour les sources à large bande"

NF E 51-701 de juin 1992 : "Composants de ventilation mécanique contrôlée (VMC) - Code d'essais aérauliques et acoustiques des bouches d'extraction"

BESSAC, F - "Incrtitude de mesure de la puissance acoustique des appareils de conditionnement d'air : application aux chillers", 2000, Rapport d'études CETIAT NTV 2000/051, 35 p.

BESSAC, F. - "Incrtitude de mesure de la puissance acoustique du bruit rayonné dans les conduits des caissons de ventilation", 1999, Rapport d'études CETIAT NTV 1999/161, 30 p.

BESSAC, F. - "Evaluation de l'incertitude de mesure de la puissance acoustique des bouches d'extraction de VMC", 1998, Rapport d'études CETIAT NTV 1998/176, 28 p.

BESSAC, F., VINCENT, J. et EZ-ZAFIR, B - "Evaluation des incertitudes de mesures d'isolement acoustique des entrées d'air", 1997, Rapport d'études CETIAT NTV 1997/176, 40 p.

NF ISO 5725-1 de décembre 1994 - "Application de la statistique - Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure - Partie 1 : principes généraux et définitions"

NF ISO 5725-2 de décembre 1994 - " Application de la statistique - Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure - Partie 2 : méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée."

