



Avis n° Init/2026/05 approuvé le 27 août 2026

Propagation de l'incertitude associée à l'indicateur $L_{Aeq,1s}$
aux indicateurs $L_{Aeq,T}$ et L_{den}



ACNAW
CAP NORD
BOULEVARD DU NORD 8
5000 NAMUR

<https://acnaw.be/home.html>

27 août 2026

Contexte

L'arrêté du Gouvernement wallon du 9 octobre 2025 modifiant l'arrêté du Gouvernement wallon du 29 janvier 2004 relatif aux sanctions administratives dans le cadre de la lutte contre le bruit généré par les aéronefs utilisant les aéroports relevant de la Région wallonne précise que la mise en œuvre des sanctions prend en compte *une marge d'incertitude de 2,0 dB* pour chaque dépassement, mesuré au droit des sonomètres fixes repris dans l'arrêté ministériel de localisation des sonomètres sur les aéroports wallons, des seuils de bruit maxima, engendrés au sol et exprimés en L_{Amax} (1s), à ne pas dépasser par les aéronefs qui utilisent les aéroports relevant de la Région wallonne.

Rappelons que, selon la loi relative à la lutte contre le bruit du 18 juillet 1973, l'indicateur L_{Amax} (indiqué sous la forme L_{max} exprimé en dB(A)) correspond en fait à la valeur maximum de l'indicateur acoustique $L_{Aeq,1s}$ relevé par les sonomètres lors du passage d'aéronefs.

Il faut toutefois noter que les références utilisées par le législateur belge ne correspondent pas à la réalité factuelle des normes internationales qui les définissent et seront précisées dans un avis ultérieur.

Cette marge d'incertitude de 2,0 dB, applicable aux niveaux $L_{Aeq,1s}$, trouve son origine dans la note du CEDIA n° 2018/7277-XK/xk du 22 juin 2018, qui retient une contribution de 1,5 dB liée à l'appareillage de mesure et de 0,5 dB liée aux conditions opératoires ainsi qu'à l'implantation des sonomètres. L'incertitude liée aux conditions météorologiques est exclue puisque les mesures sont effectuées hors périodes susceptibles d'introduire des erreurs de mesures significatives, c'est-à-dire lors de périodes de précipitations et lorsque la vitesse du vent est supérieure à 5 m/s).

Toutes les composantes de l'incertitude sont par conséquent systématiques et constantes.

La marge d'incertitude de 2,0 dB a été validée lors d'une décision prise en groupe de travail technique, précisée dans le rapport d'activités du 1^{er} octobre 2021 transmis au ministre de tutelle.

L'analyse détaillée qui figure dans ce rapport rassemble les concepts théoriques relatifs à la propagation de l'incertitude sur les mesures de $L_{Aeq,1s}$ vers l'indicateur acoustique $L_{Aeq,T}$, quel que soit l'intervalle T.

En conclusion, le présent avis explique la nécessité de tenir compte d'une marge d'incertitude de 2,0 dB sur l'indicateur acoustique L_{den} .

2

Indicateur acoustique

2.1 Définition normative

L'indicateur $L_{Aeq,T}$ (niveau de pression acoustique équivalent continu pondéré A sur une durée T) est défini par la norme IEC 61672-1 :2013.

Il représente le niveau d'un bruit stationnaire possédant la même énergie acoustique que le signal fluctuant, réellement mesuré, durant une durée T .

Lorsque

$$T = 1 \text{ s},$$

on obtient l'indicateur

$$L_{Aeq,1s}.$$

Cet indicateur constitue la grandeur élémentaire utilisée dans les mesures de bruit environnemental.

Les valeurs d'une seconde sont ensuite agrégées pour calculer des niveaux équivalents sur des intervalles de temps plus importants (1 heure, 1 jour, 1 mois ...).

2.2 Expression mathématique

Pour une pression acoustique pondérée $p_A(t)$ filtrée par la pondération A, le niveau équivalent sur une durée T est donné par

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right],$$

où

$$p_0 = 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

désigne la pression acoustique de référence.

En pratique, cette intégration peut être réalisée automatiquement par le sonomètre, mais également par calcul ultérieur de manière à sélectionner les événements sonores d'intérêt particulier, comme le passage d'aéronefs.

3

L'échelle décibel et la moyenne énergétique

3.1 Passage domaine linéaire / domaine logarithmique

L'énergie acoustique relative associée à un niveau sonore L est

$$E = 10^{L/10}.$$

Inversement,

$$L = 10 \log_{10}(E).$$

Toute opération sur des niveaux acoustiques doit être réalisée dans le domaine linéaire.

3.2 Moyenne énergétique

Pour N mesures

$$L_1, L_2, \dots, L_N,$$

la moyenne énergétique est

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_i/10} \right).$$

4

Propagation des incertitudes

4.1 Le cadre GUM

Le *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (GUM), publié sous la référence JCGM 100 :2008¹, constitue la référence internationale pour l'évaluation et l'expression de l'incertitude de mesure, tous domaines confondus.

Le GUM fait actuellement l'objet d'une révision progressive sous la forme d'une série de documents distincts, chacun identifié par une numérotation JCGM GUM-*n*. La partie consacrée à l'introduction générale du dispositif a ainsi été publiée sous la référence ISO/IEC Guide 98-1 :2024². Cette révision par parties n'affecte cependant pas la loi de propagation de la variance utilisée dans le présent avis, qui reste celle établie par la version JCGM 100 :2008.

4.2 Loi générale de propagation

Considérons une grandeur

$$Y = f(X_1, \dots, X_N). \quad (4.1)$$

En toute généralité, le but est de déterminer comment additionner correctement plusieurs sources d'incertitude sur les variables X_i pour obtenir l'incertitude totale sur la grandeur Y .

La solution est donnée par l'équation de la variance combinée, donnée par

1. JCGM 100 :2008, *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*, Comité mixte pour les guides en métrologie (BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML), 2008. Ce document est également publié sous la référence ISO/IEC Guide 98-3 :2008.

2. ISO/IEC Guide 98-1 :2024, *Guide to the expression of uncertainty in measurement — Part 1 : Introduction*, ISO/IEC, 2^e édition, février 2024.

$$u^2(Y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(X_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N c_i c_j u(X_i, X_j), \quad (4.2)$$

où Y est la grandeur qu'on cherche à connaître et $u^2(Y)$ est sa variance (c'est-à-dire à quel point le résultat final est incertain, exprimé au carré).

Dans la problématique qui nous intéresse, Y sera le niveau équivalent $L_{Aeq,T}$ et les variables X_i seront les N mesures de bruit $L_{Aeq,1s,i}$.

4.3 Premier terme : $\sum_i c_i^2 u^2(X_i)$

C'est la partie « chaque source contribue individuellement ».

- ▷ X_i : une mesure ou une grandeur d'entrée parmi les N qui composent le calcul, par exemple, une mesure de bruit $L_{Aeq,1s,i}$ parmi plusieurs ;
- ▷ $u^2(X_i)$: la variance de cette mesure prise isolément c'est-à-dire à quel point *cette mesure-là*, individuellement, est incertaine ;
- ▷ c_i : le coefficient de sensibilité, qui répond à « si cette mesure varie un peu, de combien le résultat final varie-t-il ? », et est donné par

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial X_i}$$

- ▷ Si c_i est grand, une erreur sur X_i a un fort impact sur Y ;
- ▷ Si c_i est petit (proche de zéro), une erreur sur X_i a peu d'influence sur Y .
- ▷ $c_i^2 u^2(X_i)$: la contribution de la source d'incertitude i à l'incertitude totale, une fois tenu compte de son poids dans le calcul ;
- ▷ $\sum_i$: on additionne cette contribution pour toutes les sources d'incertitude, une par une.

4.4 Covariance

Le terme $2 \sum_{i < j} c_i c_j u(X_i, X_j)$ précise la manière dont les sources sont liées entre elles.

- ▷ $u(X_i, X_j)$: la covariance entre deux sources différentes X_i et X_j détermine si leurs erreurs varient ensemble (même biais partagé) ou indépendamment ;
- ▷ $c_i c_j$: le produit des deux coefficients de sensibilité, donne l'importance combinée de ces deux sources dans le résultat final ;
- ▷ $\sum_{i < j}$: on parcourt toutes les paires possibles de sources différentes (pas une source avec elle-même — c'est le rôle du premier terme), sans compter deux fois la même paire ;
- ▷ le facteur 2 devant : chaque paire (i, j) compterait deux fois si on ne le mettait pas (une fois comme « i influence j », une fois comme « j influence i ») ; le facteur 2 compense cette symétrie en une seule sommation ordonnée ($i < j$).

En une phrase ce terme dit « si certaines sources partagent une même cause d'erreur (comme un même biais d'appareil), on ajoute une correction qui tient compte de ce lien ».

La covariance peut être exprimée à l'aide du coefficient de corrélation

$$r(X_i, X_j) = \frac{u(X_i, X_j)}{u(X_i)u(X_j)}, \quad -1 \leq r \leq 1,$$

et on en déduit la covariance par réarrangement :

$$u(X_i, X_j) = r(X_i, X_j) \cdot u(X_i) \cdot u(X_j).$$

Par définition,

$$-1 \leq r \leq 1.$$

- ▷ $u(X_i, X_j) > 0$: les erreurs varient dans le même sens (l'une monte, l'autre a tendance à monter aussi).
- ▷ $u(X_i, X_j) < 0$: les erreurs varient en sens opposé.
- ▷ $u(X_i, X_j) = 0$: les erreurs sont indépendantes, sans lien.

Dans le cas qui nous intéresse, des mesures effectuées avec le même appareil (chacun des sonomètres du réseau Diapason) partagent le même biais : leurs erreurs varient dans le même sens et sont les mêmes, le coefficient de corrélation r est égal à 1 et $u(X_i, X_j) > 0$.

Si les mesures étaient faites avec des appareils différents et indépendants, en général $u(X_i, X_j)$ serait ≈ 0 .

4.5 Application au calcul du niveau équivalent

Le niveau moyen est défini par

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_i/10} \right).$$

Introduisons

$$E_i = 10^{L_i/10}.$$

Le coefficient de sensibilité devient

$$c_i = \frac{\partial L_{eq}}{\partial L_i} = \frac{E_i}{\sum_{j=1}^N E_j}.$$

À partir de l'équation initiale, avec incertitude individuelle identique u et coefficient de corrélation r constant entre chaque paire de mesures :

$$u^2(L_{eq}) = u^2 \sum_i c_i^2 + 2r u^2 \sum_{i < j} c_i c_j.$$

Comme $\sum_i c_i = 1$

on obtient :

$$\left(\sum_i c_i \right)^2 = 1 = \sum_i c_i^2 + 2 \sum_{i < j} c_i c_j \Rightarrow \sum_{i < j} c_i c_j = \frac{1 - \sum_i c_i^2}{2}.$$

En substituant, on obtient l'équation générale :

$$u(L_{eq}) = u \sqrt{r + (1-r) \sum_{i=1}^N c_i^2} \quad (4.3)$$

Conséquence

Dans la situation qui nous intéresse, le coefficient de corrélation r est égal à 1, l'équation 4.3 se ramène à :

$$u(L_{eq}) = u \sqrt{1 + (1-1) \sum_i c_i^2} = u \sqrt{1} = u. \quad (4.4)$$

Ce résultat reste donc valable même si les niveaux $L_{Aeq,1s,i}$ agrégés sur l'intervalle T varient fortement d'une seconde à l'autre (par exemple durant la montée puis la descente du niveau sonore lors du passage d'un aéronef).

Dès lors que les sources d'incertitude affectant ces échantillons successifs sont fortement corrélées (même appareil, mêmes conditions d'installation), l'incertitude sur $L_{Aeq,T}$ reste égale à u , quelle que soit la durée T considérée et quelle que soit la répartition des niveaux au sein de cette durée.

La marge d'incertitude u sur $L_{Aeq,T}$ est donc la même que celle appliquée à $L_{Aeq,1s,i}$, soit 2,0 dB.

5

Incertitude sur l'indicateur L_{den}

Le même raisonnement s'applique à l'indicateur L_{den} .

Bien qu'il s'agisse d'une moyenne pondérée de niveaux $L_{Aeq,1s}$ sur une journée entière (avec une pénalité de 5 dB pour la soirée et de 10 dB pour la nuit), cette moyenne reste construite, comme $L_{Aeq,T}$, à partir d'un grand nombre d'échantillons mesurés par le même appareil, dans les mêmes conditions d'installation et sur le même site.

Les sources d'incertitude affectant ces échantillons successifs restent corrélées d'un échantillon à l'autre ($r=1$), quel que soit le nombre d'échantillons agrégés sur 24h.

Conformément à la démonstration qui vient d'être faite, pour $r = 1$, indépendamment de N et de la répartition des niveaux, l'incertitude sur L_{den} reste donc égale à u , sans aucune réduction liée au moyennage.

Conclusion

L'Autorité considère donc que la marge d'incertitude de 2,0 dB doit figurer dans *tous les rapports mentionnant l'indicateur L_{den}* , tant pour les relevés mensuels de l'indicateur L_{den} effectués par tous les sonomètres du réseau Diapason que pour les relevés ponctuels de l'indicateur L_{den} effectués dans le cadre du principe d'égalité.