

Méthode de mesure pour le bruit issu des transformateurs statiques

Le présent document décrit la méthodologie à suivre lors de mesures de bruit issu de transformateurs statiques. Cette méthode a été validée par l'IBGE.

1. DEFINITIONS

1°) Niveau de pression acoustique L_p en dB :

$$L_p = 10 * \log\left(\frac{p}{p_0}\right)^2, \text{ où}$$

- p est la pression acoustique efficace, en pascals,
- p_0 est la pression acoustique de référence (20 μ Pa) ;

2°) Niveau de pression acoustique pondérée A L_{pA} en dB(A) :

$$L_{pA} = 10 * \log\left(\frac{p_A}{p_0}\right)^2 \quad L_{pA} \text{ en dB(A) ;}$$

3°) **Bruit particulier L_{part} en dB(A)**: Composante du bruit total qui peut être identifiée spécifiquement par des moyens acoustiques et qui peut être attribuée à une source particulière ;

4°) **Bruit spécifique L_{sp} en dB(A)**: Niveau de bruit particulier corrigé du terme correctif pour prendre en compte un éventuel caractère tonal du bruit ;

5°) **Bruit ambiant L_f en dB(A)**: Niveau de pression acoustique équivalent mesuré lorsque les sources sonores incriminées sont à l'arrêt ;

6°) **Bruit total L_{tot} en dB(A)**: Niveau de pression acoustique équivalent mesuré lorsque les sources sonores incriminées sont en fonctionnement et comprenant le niveau L_f et le niveau L_{sp} ;

7°) **Fréquence pure du transformateur $f_i^{f_0}$** : Fréquences générées par un transformateur : 100 Hz ; 200 Hz ; 300 Hz ; 400 Hz ; 500 Hz ; 600 Hz ; 700 Hz ; 800 Hz ; 900 Hz.

8°) **Emergence** : Modification temporelle du niveau de pression acoustique ou modification du contenu spectral induite par l'apparition d'un bruit particulier qui peut être perçu par l'oreille humaine;

9°) **FFT (Fast Fourier Transform)**: Algorithme de résolution rapide en fréquence d'un signal, basé selon le principe de décomposition d'un signal en série de Fourier à temps discret (TFD).

10°) **Troncature** : Fenêtre temporelle rectangulaire



11°) Fenêtre de Hanning: Pondération de la troncature par les coefficients suivants :

$$\begin{cases} w(t) = \frac{1}{2} \left[1 + \cos \frac{2\pi t}{\theta} \right]; |t| \leq \frac{\theta}{2} \\ w(t) = 0; |t| \geq \frac{\theta}{2} \end{cases}$$

$$W(f) = \frac{\theta}{2} \frac{\sin \pi f \theta}{\pi f \theta} + \frac{\theta}{4} \left[\frac{\sin \pi \left(f - \frac{1}{\theta} \right) \theta}{\pi \left(f - \frac{1}{\theta} \right) \theta} + \frac{\sin \pi \left(f + \frac{1}{\theta} \right) \theta}{\pi \left(f + \frac{1}{\theta} \right) \theta} \right]$$

Les coefficients de pondération sont donnés par :

$$w[k] = \begin{cases} 0,5 - 0,5 \cos \frac{2\pi k}{N}; k \in [0, N-1] \\ = 0 \text{ ailleurs} \end{cases}$$

2. LA MESURE

Les mesures sont effectuées en bandes fines suivant la méthode FFT, de résolution Δf égale à 2.5 Hz (noté : FFT_{2,5}) et avec utilisation de la fenêtre de Hanning.

L'analyse spectrale doit couvrir les fréquences de 0 à 1000 Hz.

3. DES PARAMETRES ACOUSTIQUES A DETERMINER POUR LE CALCUL DU NIVEAU SPECIFIQUE DE BRUIT DU TRANSFORMATEUR

3.1. Emergence fréquentielle

L'émergence fréquentielle est calculée sur base du spectre FFT_{2,5} non pondéré.

On calcule l'émergence fréquentielle $E_{f_i^{fo}}$ située à la fréquence pure f_i^{fo} comme étant la différence arithmétique entre le niveau de bruit du signal S mesuré à la fréquence pure f_i^{fo} , à savoir $S(f_i^{fo})$, et le niveau de bruit de fond F interpolé à f_i^{fo} , à savoir $F(f_i^{fo})$; l'interpolation consistant à prendre la moyenne linéaire entre les raies situées à ± 3 résolution Δf de ladite fréquence pure f_i^{fo} .

Un terme correctif de 1.76 dB dû à l'utilisation du fenêtrage de Hanning doit être pris en compte étant donné l'impact énergétique dudit fenêtrage.

Il vient donc :



$$E_{f_i^{ffo}} = S(f_i^{ffo}) - F(f_i^{ffo}) + 1.76$$

3.2. Correction du bruit de fond

Une correction $C_{f_i^{ffo}}^{BF}$ du niveau sonore du signal mesuré aux fréquences pures du transformateur est déterminée suivant les formulations du tableau ci-dessous, en fonction de l'émergence fréquentielle $E_{f_i^{ffo}}$ définie au point 3.1.

Emergence	Correction
$E_{f_i^{ffo}}$	$C_{f_i^{ffo}}^{BF}$
$E_{f_i^{ffo}} > 10$	$C_{f_i^{ffo}}^{BF} = 0$
$3 < E_{f_i^{ffo}} < 10$	$C_{f_i^{ffo}}^{BF} = 10 * \log \left[1 - 10^{\left(\frac{-E_{f_i^{ffo}}}{10} \right)} \right]$



4. DETERMINATION DU BRUIT SPECIFIQUE DES TRANSFORMATEURS

4.1. Conversion des bandes fines en tiers d'octave

Les niveaux sonores déterminés en bandes fines sont convertis en bande de tiers d'octave suivant la procédure reprise dans le tableau suivant :

Détermination du spectre en tiers d'octave

Bande de tiers d'octave (Hz)	Fréquence centrale i (Hz)	Niveau sonore en dBlin (non pondéré)
89.1-112	100	$Lp_{part,100Hz} = Lp_{f100} + C_{f100}^{BF}$
112-141	125	////
141-178	160	////
178-224	200	$Lp_{part,200Hz} = Lp_{f200} + C_{f200}^{BF}$
224-282	250	
282-355	320	$Lp_{part,320Hz} = Lp_{f300} + C_{f300}^{BF}$
355-447	400	$Lp_{part,400Hz} = Lp_{f400} + C_{f400}^{BF}$
447-562	500	$Lp_{part,500Hz} = Lp_{f500} + C_{f500}^{BF}$
562-708	640	$Lp_{part,640Hz} = 10 * \log \left(10^{\frac{(Lp_{f600} + C_{f600}^{BF})}{10}} + 10^{\frac{(Lp_{f700} + C_{f700}^{BF})}{10}} \right)$
708-891	800	$Lp_{part,800Hz} = Lp_{f800} + C_{f800}^{BF}$
891-1122	1000	$Lp_{part,1000Hz} = 10 * \log \left(10^{\frac{(Lp_{f900} + C_{f900}^{BF})}{10}} + 10^{\frac{(Lp_{f1000} + C_{f1000}^{BF})}{10}} \right)$

4.2. Pondération « A »

A chaque bande du spectre en tiers d'octave déterminé au point 4.1, la pondération normalisée « A » définie dans le tableau ci-dessous est appliquée.



Bande de tiers d'octave (Hz)	Fréquence centrale i (Hz)	Filtre Ai (Hz)
89.1-112	100	-19.1
112-141	125	-16.1
141-178	160	-13.4
178-224	200	-10.9
224-282	250	-8.6
282-355	320	-6.6
355-447	400	-4.8
447-562	500	-3.2
562-708	640	-1.9
708-891	800	-0.8
891-1122	1000	0

4.3. Niveau de bruit particulier du transformateur

Le niveau de bruit particulier du transformateur est obtenu en effectuant la somme énergétique des niveaux du bruit particulier fréquentiel pondéré, suivant la relation suivante :

$$Lp_{part} = 10 \log \left(\sum_i 10^{\frac{(Lp_{part,iHz} + A_{iHz})}{10}} \right)$$

Où, pour rappel, A_{iHz} est la valeur du filtre A définie au point 4.2., pour la bande de tiers d'octave centrée sur la fréquence i , i variant de 100 à 1000 Hz par bande de tiers d'octave.

4.4. Emergence tonale et pénalité pour émergence tonale

L'émergence tonale est calculée sur la base du spectre fréquentiel en 1/3 d'octave non pondéré déterminé au point 4.1.

L'émergence tonale est définie comme étant la plus petite des différences arithmétiques entre le niveau Lp d'une bande émergente de 1/3 d'octave non pondéré et le niveau Lp des bandes de fréquences adjacentes :

$$E_{iHz} = \min \left[\left(Lp_{iHz} - Lp_{(i-1)Hz} \right), \left(Lp_{iHz} - Lp_{(i+1)Hz} \right) \right]$$

$$\Leftrightarrow Lp_{iHz} > Lp_{(i-1)Hz}, Lp_{(i+1)Hz}$$

où

E_{iHz} : émergence dans la bande de fréquence de tiers d'octave « i »;



Lp_{iHz} : niveau de pression acoustique dans la bande de fréquence i.

Un facteur de pénalité K est appliqué pour l'émergence tonale E_{iHz} max, c'est-à-dire pour l'émergence tonale la plus élevée parmi l'ensemble des émergences tonales E_{iHz} détectées sur l'ensemble du spectre.

Les facteurs de pénalité en fonction de l'émergence sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Emergences tonales en dB	Terme correctif en dB(A)
$E \leq 3$	0
$3 < E \leq 6$	2
$6 < E \leq 9$	3
$9 < E \leq 12$	4
$12 < E \leq 15$	5
$15 < E$	6

4.5. Niveau spécifique du transformateur

Le niveau spécifique du transformateur est déterminé selon la relation suivante :

$$Lp_{sp} = Lp_{part} + K$$

où Lp_{part} est le niveau de bruit particulier du transformateur défini au point 4.3.



5. **DES CARACTERISTIQUES DES APPAREILS DE MESURE**

L'appareillage de mesure doit être conforme aux spécifications de la norme CEI 651 de classe 1. Les sonomètres intégrateurs doivent être de catégorie B comme spécifié dans la norme CEI 804.

Les mesures peuvent être complétées par des enregistrements audiophoniques digitaux ou de qualité équivalente pour autant qu'ils comprennent au moins un signal de calibration en début d'enregistrement et que les appareils et leurs accessoires soient installés par un agent qualifié.

La chaîne des enregistrements audiophoniques a au moins les caractéristiques suivantes :

- gamme dynamique réelle : min. 60 dB;
- distorsion harmonique : inférieure à 0,5 %;
- bande passante minimum : de 20 à 12 000 Hz ;
- la fréquence d'échantillonnage est de minimum 44 KHz pour les enregistrements digitaux.

