

CFA '18 LE HAVRE ■ 23-27 avril 2018
14^{ème} Congrès Français d'Acoustique



NF S 31-120 : une nouvelle norme pour évaluer l'influence des effets météorologiques et des effets de sol sur la mesure du bruit dans l'environnement

D. Ecotière^a, B. Gauvreau^b, F. Junker^c et H. Lefèvre^d

^aCerema, Ifsttar, UMRAE, 11 rue Jean Mentelin, 67000 Strasbourg, France

^bIfsttar, Cerema, UMRAE, Route de Bouaye, 44344 Bouguenais, France

^cEDF Lab Paris-Saclay, Département ERMES, 7 boulevard Gaspard Monge, 91120 Palaiseau, France

^dCerema, 8-10, rue Bernard Palissy, 63017 Clermont-Ferrand, France

david.ecotiere@cerema.fr

Dans certaines conditions, le niveau sonore créé par une ou plusieurs sources sonores situées en environnement extérieur peut être influencé par les conditions météorologiques ou les propriétés du sol. Cette dépendance doit être quantifiée afin de décrire correctement une situation sonore. Les différentes approches présentées dans plusieurs documents normatifs français et permettant d'évaluer ces influences ont été homogénéisées, réactualisées, complétées, puis rassemblées dans un document unique constituée par la norme NF S 31-120. Ce document propose un ensemble de méthodes permettant la caractérisation des conditions météorologiques et des propriétés du sol pouvant avoir une influence à la fois locale au niveau du récepteur et lors de la propagation de l'onde sonore entre source(s) et récepteur(s). Il fixe les grandeurs à considérer et expose les méthodes générales de détermination de ces grandeurs. Deux méthodes présentées reprennent les pratiques existantes et sont applicables pour des sources de bruit ayant une hauteur inférieure à 200m et pour des distances source-récepteur inférieures à 2 km. Une troisième méthode, élaborée à l'occasion de la rédaction de la norme, permet d'appréhender les cas sortant de ce domaine d'application. La norme NF S 31-120 peut être utilisée pour (i) estimer l'effet des conditions météorologiques sur une mesure de constat ; (ii) juger de la similarité des conditions de propagation entre deux résultats de mesurage ; (iii) rechercher des explications concernant les variations du niveau sonore observées lors du mesurage d'une source stable ; (iv) classer des résultats de mesurage selon des conditions de propagation dépendantes de la météorologie et du type de sol ; (v) estimer un niveau sonore représentatif du niveau de long terme. Ce document présente le contenu et les principaux travaux menés à l'occasion de la rédaction de cette norme.

1 Introduction

Dans certaines conditions, le niveau sonore créé par une ou plusieurs sources sonores situées en environnement extérieur peut être influencé par les conditions météorologiques ou les propriétés du sol [1]. Cette dépendance doit être quantifiée afin de décrire correctement une situation sonore. Plusieurs documents normatifs français [2-4] abordaient l'évaluation de ces influences mais présentaient des incohérences entre eux et nécessitaient d'être homogénéisés, réactualisés, complétés, puis rassemblés dans un document unique constitué par la nouvelle norme NF S 31-120 [5].

Si la nouvelle norme a repris plusieurs méthodes proposées dans les normes précédentes (grille 'UiTi', caractérisation à l'aide du gradient vertical de vitesse du son, voir ci-dessous), elle propose également de nouveaux éléments parmi lesquels : la prise en compte de l'influence locale des conditions météorologiques, une troisième méthode pour la caractérisation des effets météorologiques sur la propagation acoustique, une méthode d'estimation du niveau sonore de long terme (voir ci-dessous). Cette communication présente les principaux points abordés dans la nouvelle norme NF S 31-120.

2 Effets de sol

L'atténuation due aux propriétés acoustiques du sol (ou "effet de sol") n'est pas le principal objet de la norme. Cependant, effets de sol et effets météorologiques ne sont pas toujours indépendants [6-7], dans la mesure où la nature du sol (herbe, béton, etc.) influence sensiblement les profils thermiques verticaux à son voisinage, ou à l'inverse que les effets de sol sont renforcés en présence de conditions favorables à la propagation acoustique.

En outre, la nature du sol peut présenter une variabilité spatiale (e.g. propagation acoustique au-dessus d'un sol absorbant type prairie, puis réfléchissant type lac ou surface minérale) et une variabilité temporelle (influence de l'humidité du sol, fonction des intempéries, de la saison, etc.) non négligeable. Il convient donc également de bien décrire les caractéristiques de(s) sol(s) qui existe(nt) entre la source et le récepteur. Ces caractéristiques peuvent être estimées par la mesure [8-10] ou, d'une manière plus qualitative (et plus approximative), par référence au Tableau qui présente une

classification des sols en fonction d'un paramètre influent, la résistance spécifique à l'écoulement de l'air [7].

Tableau 1 : Classification acoustique des sols (adapté de [7] et [9])

Type de sol	Résistance spécifique à l'écoulement de l'air en unités kNsm^{-4}	Type d'absorption
Neige fraîche	10-50	Très absorbant
Sous-bois sec (feuilles, épines)	20-80	
Terre fraîchement labourée	50 à 200	Absorbant
Prairie, gazon, champ cultivé	150-500	
Terre compactée, chemin stabilisé	800-2500	
Revêtements routiers (hors chaussées poreuses)	10 000 à 100 000	Réfléchissant
Eau, glace, bétons lisses et peints	> 100 000	Très réfléchissant

Pour certains types de matériaux poreux granulaires (e.g. sable, gravier, ballast de voie ferrée, substrat toit-terrasse ...), il convient de prendre en compte des paramètres complémentaires à la résistance spécifique au passage de l'air : porosité, tortuosité, facteur de forme, etc [7]. Dans le cadre de cette norme, ces types de matériaux sont considérés comme très absorbants.

Les caractéristiques "morphologiques" du sol (rugosité, végétation, modelé de terrain, butte...) influencent également la propagation acoustique [11]. La hauteur des obstacles influence principalement la vitesse du vent (la norme traite ce point en annexe) et dans une moindre mesure, la température (effet d'ombre, brise vent ...).

3 Effets météorologiques

Les conditions météorologiques et les caractéristiques du sol peuvent influencer le niveau sonore de différentes

manières : par perturbation en agissant localement sur le dispositif de mesure (bruit du vent ou de la pluie sur le microphone par exemple) ; par modification des conditions de propagation sonore entre la source et le récepteur. Cette modification peut entraîner une dispersion sur les résultats observés au cours du temps. Il faut alors tenir compte de la représentativité de ces conditions lorsqu'une comparaison d'un résultat de mesurage à une valeur limite est requise. C'est également le cas lorsqu'il s'agit de comparer des résultats de mesures successives (vérification de l'efficacité d'un moyen de protection ; mesures avant / après).

3.1 Influence locale des conditions météorologiques

Les conditions météorologiques locales peuvent avoir une influence sur le signal acoustique relevé au niveau du dispositif de mesure. 3 aspects sont abordés plus particulièrement par la norme : l'influence du bruit du vent sur le microphone, celle de la présence de pluie dans la protection anti-vent et celle des variations de température et de pression atmosphérique sur le niveau sonore mesuré.

L'interaction du vent avec le dispositif de mesure (microphone ou écran anti-vent) engendre un bruit perturbateur qui peut augmenter artificiellement le niveau de bruit mesuré et modifier le spectre acoustique. Si la vitesse du vent au niveau du microphone est faible ou si la contribution sonore de la source à caractériser prédomine nettement sur celle du vent, cet effet peut être négligé. La vitesse du vent au niveau du microphone doit donc être estimée, soit par mesure directe au voisinage immédiat du microphone, soit à partir d'une autre mesure jugée représentative de cette position. La vitesse de vent maximale admissible au niveau du microphone peut être estimée en fonction du niveau sonore mesuré à l'aide de la relation [12]

$$V_{max}(z) = ae^{b L_{mes}(z)} \quad (1)$$

où $L_{mes}(z)$ est le niveau sonore mesuré en dBA à la hauteur z (contribution sonore du vent incluse) et $V_{max}(z)$ est la vitesse de vent maximale au niveau du microphone qui permet d'assurer un rapport signal sur bruit minimum de 10 dBA entre la contribution du vent et celle du bruit de la source. Les coefficients a et b sont donnés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : coefficients a et b

z	a	b
1.5m	0.63	0.036
3m	0.68	0.037

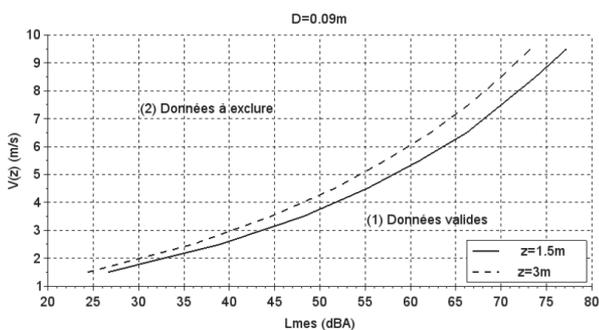


Figure 1: Vitesses de vent admissibles en fonction du niveau sonore mesuré, pour 2 hauteurs de microphone

$z=1.5m$ et $z=3m$. L_{mes} : niveau sonore mesuré en dBA, V : vitesse du vent au niveau du microphone [12].

Une pluie marquée engendre un bruit sur la protection anti-vent : les résultats de mesures obtenus dans ces conditions doivent être considérés comme invalides. Après une période de pluie (marquée ou non), la présence d'eau résiduelle dans la protection anti-vent peut modifier ses propriétés acoustiques : pour des protections standards (diamètre 9 cm), cet effet n'est significatif qu'aux fréquences supérieures à 1kHz si la protection a été exposée à des précipitations de hauteur supérieure à $h=1mm$ [13]. L'effet reste alors significatif pendant une durée T correspondant au temps de séchage de la protection estimé par la relation (avec h en mm et T en heure) :

$$T = 7.1 \ln(3.2 \ln(h) + 1.5) - 2.8 \quad (2)$$

La pression statique P et la température θ peuvent avoir une influence sur le niveau sonore relevé par modification du rayonnement de la source (modification de l'impédance de rayonnement). Ainsi, l'écart entre deux niveaux de pression acoustique mesurés à des instants différents t_1 et t_2 peut être estimé à l'aide de la formule suivante :

$$L_p(t_1) - L_p(t_2) = 20 \log \frac{P(t_2)}{P(t_1)} - 10 \log \frac{\theta(t_2)}{\theta(t_1)} \quad (3)$$

En pratique en France métropolitaine, l'écart constaté dû à chaque contribution prise séparément (pression et température) est au maximum de +/- 1.5 dB à l'échelle d'une année, et +/- 0.5 dB à l'échelle de la journée.

3.1 Influence des conditions météorologiques sur la propagation acoustique

L'action combinée des champs de température et de vent peuvent conduire à des effets de réfraction des ondes sonores, et par suite à un renforcement ou à une atténuation des niveaux sonores au niveau du récepteur. Ces effets dépendent des positions source-récepteur. La norme reprend les consignes de la norme ISO 1996 en indiquant que ces effets sont à prendre en compte dès lors que la relation suivante est satisfaite [14] :

$$d > 10(h_S + h_R) \quad (4)$$

où d est la distance source-récepteur et h_S et h_R sont respectivement les hauteurs de la source et du récepteur.

Afin d'évaluer les effets des conditions météorologiques sur la propagation sonore pendant la durée de mesurage, la norme classe les conditions de propagation sonore en trois catégories : les conditions de propagation homogènes, favorables et défavorables à la propagation sonore.

La norme propose trois méthodes pour caractériser les conditions de propagation, qui peuvent être utilisées de façon complémentaire. La méthode 2 est plus complexe à mettre en œuvre que la méthode 1 car elle nécessite l'utilisation d'un appareillage spécifique, mais elle permet de caractériser plus précisément les conditions de propagation. La méthode 3, plus générale, peut être utilisée lorsque les conditions d'application des méthodes 1 ou 2 ne sont pas réunies, ou

bien lorsque l'on cherche à obtenir des informations statistiques sur les niveaux sonores pour des conditions de propagation particulières.

La méthode 1 est une méthode qualitative permettant de caractériser approximativement les conditions de propagation sur l'ensemble du site pour des conditions de propagation stables ou non stables (voir 3.2). Elle comporte une part d'interprétation de l'observateur et permet d'obtenir une caractérisation des conditions de propagation selon 3 classes : favorable, homogène, défavorable à la propagation, sans toutefois fournir d'estimation quantifiée de l'effet de la météorologie sur le niveau sonore mesuré. La méthode 2 est une méthode quantitative basée sur la mesure de paramètres météorologiques. Elle permet de caractériser les conditions de propagation pour des conditions de propagation stables ou non stables (voir 3.3), et d'obtenir une caractérisation des conditions de propagation selon les 3 classes précédentes, sans toutefois fournir d'estimation quantifiée de l'effet de la météorologie sur le niveau sonore mesuré. La méthode 3 est basée sur une analyse statistique des résultats de mesure. Elle permet de caractériser les conditions de propagation sur la base d'une classification à partir de mesures météorologiques et acoustiques réalisées pour des conditions de propagation non stables. Elle permet d'obtenir des informations statistiques (moyenne, dispersion) sur les niveaux sonores observés dans chaque classe. Les 3 méthodes sont décrites ci-dessous.

3.2 Caractérisation de la propagation : conditions de propagation stables

Les conditions de propagation stables correspondent à des périodes où les conditions météorologiques ont varié suffisamment peu pour avoir un impact acoustique significatif. Elles sont généralement observées pour des périodes dont les durées varient de 10 min à 2 h. Cependant, même dans ce cas, il y a lieu de s'assurer que les conditions de propagation sont stables, c'est à dire qu'elles n'entraînent pas de changement de classe de propagation au sens de la méthode utilisée. Dans le cas contraire, la norme indique d'appliquer l'approche décrite pour les conditions de propagation non stables. L'objectif de chacune des méthodes est de proposer une classification des différentes périodes d'observation en classes de condition de propagation.

Méthode 1. Les conditions de propagation sont estimées qualitativement à l'aide d'une grille d'analyse déterminant en premier des classes de conditions météorologiques (tableau 5), à renseigner pour chacun des secteurs angulaires. Ces classes sont déterminées à partir des conditions de vent et de rayonnement thermique (tableaux 3-4). Les définitions des catégories de vent (moyen, fort, faible) sont précisées dans la norme. Les 3 classes de conditions de propagation sont ensuite obtenues à partir des tableaux 5-6.

Tableau 3 : Classification des conditions de vent (méthode 2)

Vent	Contraire	Peu contraire	Travers	Peu portant	Portant
Fort	U1	U2	U3	U4	U5
Moyen	U2		U3	U4	
Faible	U3				

Tableau 4 : Classification des conditions de température (méthode 2)

	Rayonnement	Humidité du sol	Vitesse du vent	Ti
Jour	Fort	Sec	Faible ou moyen	T1
	Faible ou moyen	Humide	Fort	T3
	Autres cas			T2
Période de lever ou coucher du soleil				T3
Nuit	Ciel dégagé	-	Faible	T5
	Autres cas			T4

Tableau 5 : Classification des conditions météorologiques UiTi

	U1	U2	U3	U4	U5
T1		--	-	-	
T2	--	-	-	Z	+
T3	-	-	Z	+	+
T4	-	Z	+	++	++
T5		+	+	++	

Tableau 6 : Classification des conditions de propagation (méthode 1)

Classes	Conditions de propagation	
--	d	très défavorables à la propagation
-		défavorables à la propagation
Z	Z	homogènes
+	f	favorables à la propagation
++		très favorables à la propagation

Méthode 2. Les conditions de propagation sont estimées quantitativement à partir d'une mesure du gradient vertical de vitesse du son. Cette méthode nécessite donc un appareillage plus élaboré que la méthode 1 (mât météo par exemple). Le gradient de vitesse du son est calculé ainsi :

$$G_{son}(z) = \frac{10.02}{\sqrt{T(z)}} \frac{a_V}{z} + \frac{a_T}{z} \cos(\beta) \quad (5)$$

où a_V et a_T sont respectivement les gradients verticaux de vitesse et de température de l'air, calculés par régressions log-linéaires en fonction de z , appliquées aux valeurs de la vitesse du vent $V(z)$ et de la température $T(z)$ mesurées par les capteurs du même mât météorologique.

Les classes de conditions de propagation sont ensuite déterminées à l'aide des tableaux 7-8.

Tableau 7 : Classification des conditions de propagation (méthode 2)

Classes	Conditions de propagation	Gradient vertical de vitesse du son
d	défavorables	$G_{son} < A$
Z	homogènes	$A \leq G_{son} \leq B$
f	favorables	$G_{son} > B$

Tableau 8 : coefficients A et B

Hauteur d'estimation du gradient	A (s ⁻¹)	B (s ⁻¹)
3 m	-0.023	+ 0.023
6 m	-0.012	+ 0.012
10 m	- 0,007	+ 0,007

Méthode 3. Contrairement aux méthodes 1 et 2, la méthode 3 ne fournit pas une classification en termes de conditions favorables ou défavorables. En revanche, elle permet de hiérarchiser en termes de niveau sonore les différentes conditions de propagation rencontrées et d'y associer des grandeurs statistiques objectives (moyenne, écart-type, intervalles de confiance). L'application de la méthode 3 ne présente un réel intérêt que pour des observations réalisées pour des conditions de propagation non stables pendant la période de mesurage, son application est donc essentiellement recommandée pour caractériser des conditions non stables (voir ci-dessous).

3.3 Caractérisation de la propagation sonore : conditions de propagation non stables

La caractérisation dans une classe de conditions météorologiques stables n'est en général valable que pour des périodes dont les durées varient de 10 min à 2 h [1]. Les deux approches suivantes peuvent être adoptées pour caractériser les conditions de propagation rencontrées au cours d'une période d'observation plus longue. Ces approches sont complémentaires.

La première approche consiste à présenter dans un tableau ou sur un graphique le niveau sonore relevé au point d'observation en regard de la classe de conditions de propagation identifiée pour chaque intervalle de base (voir par exemple Figure 2). Lorsque l'émission sonore de la source est contrôlée ou connue, cette approche permet d'identifier rapidement certaines fluctuations du niveau sonore imputables aux conditions de propagation.

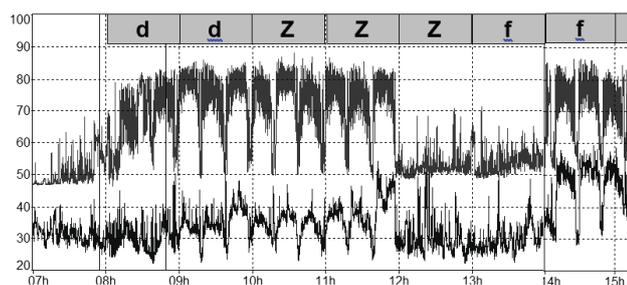


Figure 2 : Exemple d'évolution temporelle des niveaux sonores et des conditions de propagation (haut : près de la source, bas : chez un riverain localisé à 800m de la source). Les conditions favorables à la propagation (f) expliquent en partie la hausse du niveau sonore après 14h.

La deuxième approche se base sur une représentation statistique des conditions de propagation constatées au cours de la période d'observation, soit à l'aide de calculs des occurrences d'apparition de chaque classe de condition de propagation (méthode 1 et 2 ci-dessous), soit à l'aide d'une analyse et d'une représentation statistique ad-hoc (méthode 3 ci-dessous).

Méthode 1 et 2. Les occurrences d'apparition de chaque classe de conditions de propagation sont calculées en divisant le nombre d'intervalle de base disjoints inclus dans l'intervalle de référence considéré, pour lesquels les conditions sont respectivement favorables (f), homogènes (Z) et défavorables (d) pour la propagation du son, par le nombre total d'intervalle de base inclus dans l'intervalle de référence. Une représentation synthétique des taux d'occurrence observés peut être effectuée selon chaque direction de propagation, à l'aide d'un diagramme polaire centré sur le point récepteur, comme dans l'exemple Figure 3 pour 2 types de conditions de propagation.

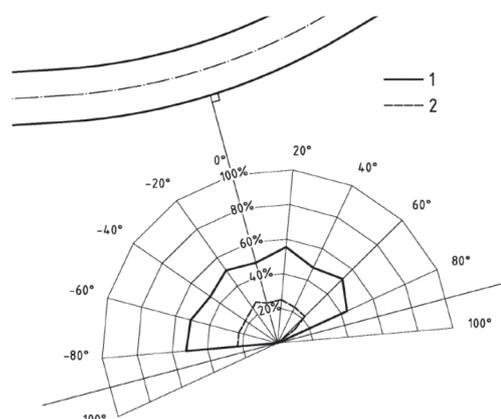


Figure 3 : Exemple de répartition angulaire des taux d'occurrence observés de conditions favorables et défavorables sur un intervalle de référence par rapport à la perpendiculaire à une infrastructure routière.

Méthode 3. La méthode s'appuie sur une méthode statistique de classification [15]. Elle nécessite de disposer de mesures simultanées de niveaux sonores et de grandeurs météorologiques représentatives du site étudié. La méthode peut s'appliquer à tout type d'indicateur permettant d'estimer les niveaux sonores (par ex L50, Leq...). Le choix de l'indicateur relève de l'utilisateur selon l'application visée et les sources étudiées. Cette méthode ne fait pas d'hypothèse sur la source de bruit, ni sur son type (source ponctuelle, source étendue, nombre de sources, ...), ni sur sa position par rapport au récepteur.

La méthode est basée sur une méthode statistique de classification de type 'kmeans' sur la base de classes de facteurs météorologiques déterminées *a priori* (vitesse et direction de vent par exemple). Une méthode d'analyse de la variance permet d'identifier les facteurs significatifs. Afin de réduire le nombre de classes, on peut rechercher les regroupements éventuels entre les classes. Ceci peut être réalisé de manière empirique ou à l'aide d'une méthode statistique (test de Kruskal-Wallis par exemple) et parvenir finalement à la définition des classes de conditions de propagation qui peuvent être présentées sous la forme d'un tableau combinant les différentes classes de vitesses et de directions du vent observées (Tableau 9) auxquelles on associe les taux d'occurrence observés pour chaque classe.

Tableau 9 : Exemples de classification des conditions météorologiques pour 2 facteurs météo (vitesse et direction du vent).

Classes de condition de propagation	Définition des classes	Taux d'occurrence observés
1	$V_{lmin} < V < V_{lmax}$ ET $D_{lmin} < D < D_{lmax}$	p_1
...
n	$V_{nmin} < V < V_{nmax}$ ET $D_{nmin} < D < D_{nmax}$	p_n

Les résultats peuvent être représentés sous la forme de la Figure 4 où apparaissent les niveaux sonores moyens de chaque classe et leur écart-type pour différents secteurs angulaires, pour la période d'observation, ainsi que les taux d'occurrence expérimentaux. Dans l'exemple présenté, on constate que, pour un vent provenant du secteur angulaire $[295^\circ ; 85^\circ]$, on a observé un niveau sonore moyen de 38 dBA (écart-type 3.1 dBA), pendant 18% du temps d'observation.

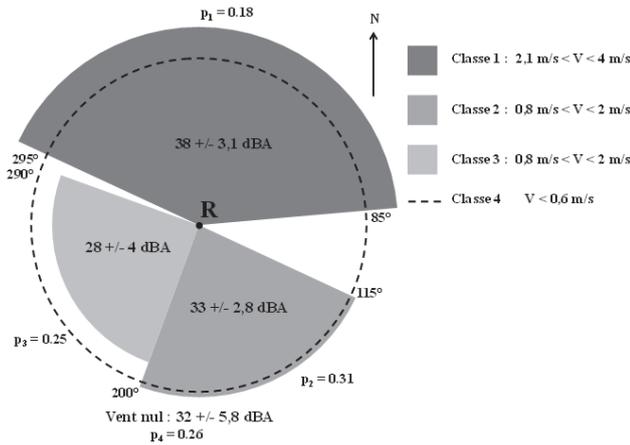


Figure 4 : Niveaux moyens +/- 1 écart-type, par secteur angulaire.

Contrairement aux méthodes 1 et 2, la méthode 3 ne permet pas d'identifier les conditions de propagation favorable ou défavorable. Elle permet cependant de proposer une hiérarchie entre les différentes conditions de propagation observées. Elle est en revanche la seule des trois méthodes qui permet de fournir des données quantitatives (moyenne, dispersion) en termes de niveau sonore pour chaque classe observée.

3.4 Extrapolation à des conditions de propagation de long terme

Les résultats des mesurages ne sont représentatifs que de la période d'observation. Une estimation du niveau sonore de long terme représentatif d'une période plus grande (sur 1 mois ou 1 an par exemple) est cependant possible lorsque l'on peut associer un niveau sonore moyen à chaque classe de condition de propagation. C'est en particulier le cas lorsque l'on utilise la méthode 3. Ce peut également être le cas lorsque l'on utilise les méthodes 1 et 2 si la source peut

être assimilée à une source ponctuelle, c'est à dire qu'une direction de propagation principale peut être identifiée sans ambiguïté. Pour cela, il est nécessaire de disposer de séries temporelles des données météorologiques du site, représentatives de la période de long terme considérée, afin de calculer le taux d'occurrence $p_{i,LT}$ de long terme associé à chaque classe de propagation i .

Les données météorologiques de long terme doivent répondre aux conditions suivantes : i) les données doivent être représentatives de l'emplacement où ont été effectués les relevés météorologiques durant la période d'observation. Pour des sites dont la topographie est complexe ou pour lesquels les obstacles sont nombreux (milieu urbain par exemple), cette représentativité peut parfois être difficile à assurer. Dans ce cas, il y a lieu de présenter la justification d'une telle représentativité (par exemple corrélations satisfaisantes entre les données météorologiques des 2 emplacements, ...). ii) Chaque échantillon de la série météorologique de long terme doit correspondre à des intervalles de base dont la durée est la même que celle définie pour les données météorologiques recueillies durant la période d'observation.

Une première estimation du niveau sonore de long terme est calculée de la façon suivante :

$$\bar{L}_{LT} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n p_{i,LT} 10^{\bar{L}_i/10} \right) \quad (6)$$

où n est le nombre de classes de conditions de propagation obtenues expérimentalement et \bar{L}_i est la moyenne arithmétique des niveaux sonores de la classe i .

Un encadrement du niveau sonore de long terme peut être obtenu en attribuant aux classes de conditions de propagation qui n'auraient pas été observées durant la période de mesurage la contribution sonore la plus faible (\bar{L}_{min}), pour la borne inférieure, et la plus forte (\bar{L}_{max}), pour la borne supérieure, que l'on peut attribuer à la source considérée. En l'absence de connaissance de ces deux valeurs, la norme indique d'estimer \bar{L}_{min} par la limite basse de la gamme de mesure de l'appareillage de mesure (ou à défaut : $\bar{L}_{min} = 10$ dB), et \bar{L}_{max} par $\bar{L}_{max} = \max(\bar{L}_i)$. Ceci nécessite impérativement que des relevés sonores aient été faits en présence des conditions les plus favorables à la propagation auxquelles on puisse s'attendre sur le site. Les tableaux 5 et 6 fournissent des indications permettant de guider l'utilisateur sur les caractéristiques météorologiques concernant ces conditions. L'encadrement prend alors la forme :

$$\bar{L}_{LT} \in [\bar{L}_{LT} + \Delta_{min}; \bar{L}_{LT} + \Delta_{max}] \quad (7)$$

avec

$$\Delta_{min} = 10 \log \left(1 + \left(1 - \sum_{i=1}^n p_{i,LT} \right) 10^{\frac{\bar{L}_{min} - \bar{L}_{LT}}{10}} \right) \quad (8a)$$

$$\Delta_{max} = 10 \log \left(1 + \left(1 - \sum_{i=1}^n p_{i,LT} \right) 10^{\frac{\bar{L}_{max} - \bar{L}_{LT}}{10}} \right) \quad (8b)$$

Un intervalle de confiance à 95% peut être donné à partir des Eq. (8) en faisant l'hypothèse majorante d'une distribution uniforme des niveaux sonores :

$$\bar{L}_{LT} \in \left[\tilde{L}_{LT} + \Delta_{min} + \frac{1}{2} \frac{5}{100} (\Delta_{max} - \Delta_{min}) ; \tilde{L}_{LT} + \Delta_{max} - \frac{1}{2} \frac{5}{100} (\Delta_{max} - \Delta_{min}) \right] \quad (9)$$

Le niveau sonore de long-terme moyen est alors estimé par

$$\bar{L}_{LT} = \tilde{L}_{LT} + \Delta_{min} + \frac{1}{2} (\Delta_{max} - \Delta_{min}) \quad (10)$$

et l'incertitude-type [16-17] de représentativité de long-terme donné par

$$\sigma_{LT} = \frac{(\Delta_{max} - \Delta_{min})}{2\sqrt{3}} \quad (11)$$

5 Conclusion

La révision de plusieurs normes françaises sur la mesure du bruit dans l'environnement a permis d'harmoniser les méthodes de caractérisation des effets de la météorologie sur la mesure des niveaux sonores, de les réactualiser et de proposer une méthodologie commune rassemblés dans un document unique. Cette nouvelle norme propose en particulier 3 méthodes complémentaires pour caractériser les effets de la météorologie sur la propagation sonore, dont le degré de précision concernant les renseignements fournis et la difficulté de mise en œuvre diffèrent. La personne en charge des mesurages peut ainsi choisir parmi les 3 méthodes celle qui correspond à ses besoins ou à ses moyens. Cette nouvelle norme propose également pour la première fois une estimation du niveau sonore de long-terme.

Remerciements

Les auteurs remercient les membres des commissions S30M et S30J de l'AFNOR pour leur relecture et leurs commentaires sur le projet de norme.

Références

- [1] B. Gauvreau, D. Écotière, H. Lefèvre, B. Bonhomme. Propagation acoustique en milieu extérieur complexe – Caractérisation expérimentale in situ des conditions micrométéorologiques – Éléments méthodologiques et métrologiques, *Coll. Études et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, Réf. EG21, 68 pages, (2009)
- [2] Norme NF S 31-110:2005, Acoustique - Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement - Grandeurs fondamentales et méthodes générales d'évaluation. AFNOR
- [3] Norme NF S 31-085:2005, Acoustique - Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier - Spécifications générales de mesurage. AFNOR
- [4] Norme NF S 31-088:2014, Acoustique - Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire, AFNOR
- [5] Norme NF S 31-120, Acoustique - Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement - Partie 2 : Influence du sol et des conditions météorologiques, AFNOR, à paraître.
- [6] T. Embleton, *Tutorial on sound propagation outdoors*, Journal of the Acoustical Society of America n°100, pp 31-48, 1996.
- [7] K. Attenborough, K.M. Li, K. Horoshenkov, *Predicting outdoor sound*, 2007, ed. Taylor & Francis, London, 2007.
- [8] H.M. Hess, K. Attenborough, N.W. Heap, *Ground characterization by short-range propagation measurements*, Journal of the Acoustical Society of America n°87, pp1975-1986, 1990.
- [9] G. Guillaume, O. Faure, B. Gauvreau, F. Junker, M. Bérengier, Ph. L'Hermite, *Estimation of impedance model input parameters from in situ measurements: Principles and applications*, Applied Acoustics n°95, 2015.
- [10] Ph. Glé, D. Ecotière, B. Gauvreau, R. Boittin, H. Lefèvre, D. Lunain, Uncertainty of an in situ method for measuring ground acoustic impedance, *Internoise 2015*, San-Francisco (USA), August 2015
- [11] O. Faure, B. Gauvreau, F. Junker, Ph. Lafon, Modélisation des sols irréguliers par une impédance effective : application aux méthodes temporelles, 12^{ème} Congrès Français d'Acoustique, Poitiers (F), 22-25 Avril 2014
- [12] D. Ecotière, A semi empirical model to estimate the uncertainties of wind-induced noise in a screened microphone, *Internoise*, 2018.
- [13] C. Ribeiro, D. Ecotière, P. Cellard, C. Rosin, *Uncertainties of the frequency response of wet windscreens*, Applied Acoustics n°78, pp11-18, 2014.
- [14] Norme ISO 1996-2:2017, Acoustique - Description, évaluation et mesurage du bruit de l'environnement - Partie 2 : détermination des niveaux de bruit de l'environnement. ISO.
- [15] F. Junker, M. Alayrac, M. Soulier, Application de l'analyse de la variance à la mise en évidence de l'influence des conditions météorologiques sur la propagation acoustique, Congrès Français d'Acoustique, 2014.
- [16] Norme XP-S 31-115-1, Acoustique, Méthode d'évaluation des incertitudes de mesurage en acoustique de l'environnement - Partie 1 : Influence de l'instrumentation, à paraître.
- [17] D. Ecotière, M. Rumeau, D. Brassens, F ; Junker, H. Lefèvre, E. Marchal, C. Ribeiro, C. Rosin, XP S 31-115-1 : une nouvelle norme pour évaluer les incertitudes liées à l'instrumentation lors de mesure du bruit dans l'environnement, Congrès Français d'Acoustique, 2018.