

Acoustique — Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire

E : Acoustics — Characterization and measurement of railway traffic noise

D : Akustik — Kennzeichnung und Messung des vom Zugverkehr verursachten
Außengeräusches

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR.

Remplace la norme homologuée NF S 31-088, d'octobre 1996.

Correspondance

A la date de publication du présent document, il n'existe pas de travaux européens ou internationaux traitant du même sujet.

Résumé

Le présent document s'applique à la caractérisation et au mesurage du bruit de trafic ferroviaire et a pour but de préciser une méthode pour la détermination de la contribution sonore d'origine ferroviaire.

Les méthodes décrites contribuent :

- à la réalisation d'une étude d'impact acoustique dans le cas de modifications d'une infrastructure ferroviaire ;
- à la vérification du respect d'un objectif quantifié, notamment celui imposé par la réglementation.

Elles peuvent également être utilisées pour le suivi acoustique en continu d'un site par un système d'observation.

Descripteurs

Thésaurus International Technique : PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT, ACOUSTIQUE, BRUIT ACOUSTIQUE, BRUIT AERIEN, MATERIEL ROULANT DE CHEMIN DE FER, VEHICULE DE CHEMIN DE FER, TRAMWAY, DEFINITION, MESURAGE ACOUSTIQUE, CIRCULATION, VOIE FERREE, DETECTION, CALCUL, INSTRUMENT DE MESURAGE, PRESSION ACOUSTIQUE, ESSAI IN SITU, CONDITIONS CLIMATIQUES, DONNEE METEOROLOGIQUE, RESULTATS D'ESSAI, INCERTITUDE.

Modifications:

Par rapport au document remplacé, le texte a évolué de façon significative. Les principales modifications apportées sont les suivantes :

- intégration de spécifications relatives aux tramways ;
- meilleure prise en compte de la météorologie et de l'aspect «incertitude de mesure» ;
- précisions relatives aux acquisitions acoustiques et révision des précautions opératoires pour les mesurages ;
- introduction de critères de validation de l'échantillonnage des circulations, de la notion de détection des circulations ferroviaires ;
- ajout d'un guide d'application pour les mesures en gare et station (Annexe A).

Corrections

La norme

La norme est destinée à servir de base dans les relations entre partenaires économiques, scientifiques, techniques et sociaux.

La norme par nature est d'application volontaire. Référencée dans un contrat, elle s'impose aux parties. Une réglementation peut rendre d'application obligatoire tout ou partie d'une norme.

La norme est un document élaboré par consensus au sein d'un organisme de normalisation par sollicitation des représentants de toutes les parties intéressées. Son adoption est précédée d'une enquête publique.

La norme fait l'objet d'un examen régulier pour évaluer sa pertinence dans le temps.

Toute norme est réputée en vigueur à partir de la date présente sur la première page.

Pour comprendre les normes

L'attention du lecteur est attirée sur les points suivants :

Seules les formes verbales **doit et doivent** sont utilisées pour exprimer une ou des exigences qui doivent être respectées pour se conformer au présent document. Ces exigences peuvent se trouver dans le corps de la norme ou en annexe qualifiée de «normative». Pour les méthodes d'essai, l'utilisation de l'infinitif correspond à une exigence.

Les expressions telles que, **il convient et il est recommandé** sont utilisées pour exprimer une possibilité préférée mais non exigée pour se conformer au présent document. Les formes verbales **peut et peuvent** sont utilisées pour exprimer une suggestion ou un conseil utiles mais non obligatoires, ou une autorisation.

En outre, le présent document peut fournir des renseignements supplémentaires destinés à faciliter la compréhension ou l'utilisation de certains éléments ou à en clarifier l'application, sans énoncer d'exigence à respecter. Ces éléments sont présentés sous forme de **notes ou d'annexes informatives**.

Commission de normalisation

Une commission de normalisation réunit, dans un domaine d'activité donné, les expertises nécessaires à l'élaboration des normes françaises et des positions françaises sur les projets de norme européenne ou internationale. Elle peut également préparer des normes expérimentales et des fascicules de documentation.

Si vous souhaitez commenter ce texte, faire des propositions d'évolution ou participer à sa révision, adressez vous à <norminfo@afnor.org>.

La composition de la commission de normalisation qui a élaboré le présent document est donnée ci-après. Lorsqu'un expert représente un organisme différent de son organisme d'appartenance, cette information apparaît sous la forme : organisme d'appartenance (organisme représenté).

Acoustique des milieux extérieurs

AFNOR S30M

Composition de la commission de normalisation

Président : MME ANFOSSO-LEDEE

Secrétariat : MME BOUVENOT — AFNOR

M	ABRAMOWITCH	EGIS ROUTE-SCETAURROUTE
M	AFLALO	01DB METRAVIB — ACOEM
M	ANDRE	ADEME
MME	ANFOSSO-LEDEE	IFSTTAR
MME	AUJARD	01DB METRAVIB — ACOEM
M	AUTRET	CEREMA
M	BERENGIER	IFSTTAR
M	BERTOIS	CEREMA
M	BOITTIN	CEREMA
M	BONHOMME	CEREMA
M	BOULET	IFSTTAR
MME	CEREZO	IFSTTAR
M	DEFRANCE	CSTB
M	DELORME	CEREMA
M	DIMITRI	MFP MICHELIN
M	DUTILLEUX	CEREMA
M	ECOTIERE	CEREMA
M	FILHOL	SNCF / NORHA
MME	FILLLOL	RATP
MME	FORTIN-RIMBERT	APAVE PARISIENNE SAS
M	GAUTIER	USIRF
M	GAUVREAU	IFSTTAR
MME	GILLE	CEREMA
M	GREMAUD	BRUEL & KJAER FRANCE
M	JUNKER	EDF R&D
M	LEFEVRE	CEREMA
M	LEGRAND	BUREAU DE NORMALISATION DE L'AUTOMOBILE
M	LELONG	IFSTTAR
M	LETOURNEAUX	SNCF — AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE
M	MELLET	SNCF
M	MOREL	DIRECTION DE LA PRÉVENTION DES POLLUTIONS ET DES RISQUES
M	PARDO	UTAC SAS
M	POUTEAU	EUROVIA MANAGEMENT
MME	ROGER	DGALN — DG AMENAGEMENT LOGEMENT NATURE
M	RUMEAU	ASSOCIATION DES ACOUSTICIENS DE L'ENVIRONNEMENT
M	SAURAT	LES INGENIEURS SUPELEC
M	SOLDANO	CEREMA
M	VALENTIN	DIRECTION DE LA PRÉVENTION DES POLLUTIONS ET DES RISQUES
M	VAN MAERCKE	CSTB
M	VERHÉE	USIRF
M	VINCENT	ASSOCIATION ACOUCITE

Groupe d'experts «Bruit ferroviaire»

M	ABRAMOWITCH	EGIS RAIL
M	BELINGARD	SNCF
M	BRASSENX	RATP
M	KAPOUS	ACOUSTB
M	LETOURNEAUX	SNCF
M	ROUFFET	COMMUNAUTE URBAINE BORDEAUX
M	TOUSSAINT	CETE DE L'EST
M	VINSON	SNCF

Sommaire

Page

Introduction	7
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	10
3 Termes et définitions	10
3.1 Appareillage de mesure	10
3.2 Intervalles	11
3.3 Niveaux sonores	12
3.4 Catégories de bruit	13
3.5 Termes ferroviaires	14
3.6 Points de mesurage	15
4 Principes du mesurage	15
4.1 Généralités	15
4.2 Plan de mesurage	15
4.3 Acquisitions	15
5 Mesurages acoustiques	16
5.1 Appareillage de mesurage	16
5.2 Contrôle de l'appareillage	16
5.3 Précautions opératoires	16
5.4 Critère de validation de l'échantillonnage des circulations	17
5.5 Emplacements de mesurage	17
5.5.1 Mesurages en façade de bâtiment	17
5.5.2 Autres cas de mesurage	17
5.6 Intervalle de mesurage	17
5.6.1 Cas général pour le point principal	17
5.6.2 Optimisation de la durée de mesurage au point principal en l'absence de point satellite	18
5.6.3 Conditions à respecter pour le point satellite	18
5.6.4 Traitement des cas où l'écart entre le bruit ambiant au passage de circulations ferroviaires et le bruit résiduel est inférieur à 10 dB	19
6 Détermination de la contribution sonore due au trafic ferroviaire	19
6.1 Principe de détection des circulations ferroviaires sur site	19
6.2 Système de détection des circulations ferroviaires	20
6.3 Codage du signal de mesure	20
6.4 Calcul de la contribution sonore d'origine ferroviaire	21
6.4.1 Généralités	21
6.4.2 Calcul du $L_{Aeq, Constat}$ [FER]	21
6.4.3 Calcul du $L_{Aeq, LT, t}$ [FER]	22
6.4.4 Calcul du $L_{Aeq, Tref}^p$ [FER] de chaque type de circulation p à partir de mesurages sur l'intervalle de référence	23
6.4.5 Calcul du $L_{Aeq, TRéf}^p$ [FER] de chaque type de circulation p lorsque la durée de mesurage a été optimisée (voir 5.6.2)	23
La contribution sonore d'un type de circulation ferroviaire p est obtenue à partir des niveaux sonores de toutes les circulations de ce type mesurés sur leur intervalle de base respectif	23
6.4.6 Validation de l'estimation de la situation de Long Terme trafic	24
6.5 Corrélation entre les niveaux sonores d'un point principal et d'un point satellite	24
6.5.1 Calcul de l'écart moyen entre les niveaux sonores de deux points de mesure	24
6.5.2 Validation de l'écart moyen entre les niveaux sonores de deux points de mesure	24
6.5.3 Détermination du niveau sonore d'un point satellite par rapport à un point principal	24
7 Conditions météorologiques	25
8 Description du sol	25
9 Caractéristiques du trafic ferroviaire	25

NF S 31-088

10	Validation et utilisation des résultats	25
10.1	Élimination et remplacement des bruits perturbateurs (parasites ou masquants)	25
10.1.1	Bruit parasite	25
10.1.2	Bruit masquant	25
10.1.3	Critère sur le nombre de circulations rejetées	26
10.2	Influence du bruit résiduel sur la validation des résultats de la contribution sonore ferroviaire	
	$L_{Aeq,7}$[FER]	26
10.3	Utilisation des résultats	26
11	Procès-verbal d'essai	26
12	Incertitudes de mesure	28
	Annexe A (informative) Guide d'application pour les mesures en gare et station	29
A.1	Sources acoustiques spécifiques en gare et station	29
A.2	Description de la station	29
	Annexe B (informative) Informations pour la prise en compte des incertitudes de mesure	30
B.1	Généralités	30
B.2	Liste des facteurs d'influence	30
	Bibliographie	31

Introduction

Le présent document décrit les méthodes de mesurage *in situ* du bruit résultant d'un trafic ferroviaire (et assimilé) à proximité d'une infrastructure existante en vue de l'évaluation de sa contribution sonore dans l'environnement, selon les principes décrits dans la norme NF S 31-110.

Par comparaison au trafic routier traité dans la norme NF S 31-085, le trafic ferroviaire (et assimilé) présente les spécificités suivantes dont il est tenu compte dans le présent document :

- un guidage par contact dans une emprise restreinte en site propre ;
- des catégories peu nombreuses de matériels roulants ;
- une exploitation cadencée à caractère périodique avec un nombre déterminé d'événements ;
- une gamme de vitesses spécifiques à chaque matériel et à chaque point d'observation.

1 Domaine d'application

Le présent document définit la méthode de mesurage du bruit de trafic ferroviaire et a pour objectif de décrire une méthode pour la détermination de la contribution sonore d'une infrastructure ferroviaire d'un site donné dans des conditions précises de trafic et de météorologie.

Elle ne permet pas à elle seule d'évaluer le niveau de pression acoustique représentatif de long terme du fait qu'elle ne prend pas en compte les variations des conditions météorologiques à long terme (traitées dans le projet de norme prNF S 31-185 ¹⁾).

Elle décrit une méthode d'évaluation des niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A résultant du bruit produit par une infrastructure ferroviaire existante, qui peut être utilisée dans les cas suivants :

- mesurage de constat : c'est le cas où le résultat de mesure n'est représentatif que de l'état mesuré pendant l'intervalle de mesurage. Il correspond à une mesure pour un état donné en un lieu donné à un moment donné ;
- mesurage et estimation d'un niveau sonore de long terme trafic : c'est le cas où le résultat de mesure de constat est recalé par rapport à des données de trafic représentatives d'une situation de long terme. Le résultat recalé n'est représentatif que de l'état sonore de long terme trafic. En particulier, il correspond à une estimation pour la situation météorologique donnée au moment du mesurage ;
- mesurage et interprétation d'un niveau sonore de long terme trafic vis-à-vis de conditions météorologiques de long terme : c'est le cas où le résultat de mesure de long terme trafic est interprété par rapport aux données météorologiques existantes pendant la durée du mesurage, comparées à des données météorologiques représentatives d'une situation de long terme. Dans ce cas, le résultat de mesure de long terme trafic interprété vis-à-vis des conditions météorologiques peut être comparé à un objectif acoustique applicable à une situation sonore moyenne, réglementaire ou non.

Le choix du mesurage, du recalage du trafic et de l'analyse météorologique dépend de l'usage auquel sont destinés les résultats.

L'évaluation des données de trafic et le recalage sont nécessaires lorsqu'on souhaite réaliser des comparaisons acoustiques (par exemple avant/après un aménagement) vis-à-vis d'un objectif de long terme. Pour des distances source-récepteur inférieures à 100 m, on admet que l'influence des conditions météorologiques sur la propagation sonore reste modérée et que par conséquent le niveau sonore de long terme trafic est représentatif du niveau sonore de long terme. Pour des distances source-récepteur supérieures à 100 m, il est nécessaire d'évaluer les conditions météorologiques pendant le mesurage si l'on souhaite interpréter le niveau sonore vis-à-vis de conditions météorologiques représentatives du long terme.

La Figure 1 synthétise les résultats de mesures que l'on peut obtenir en fonction des données de trafic et météorologiques recueillies.

1) En préparation.

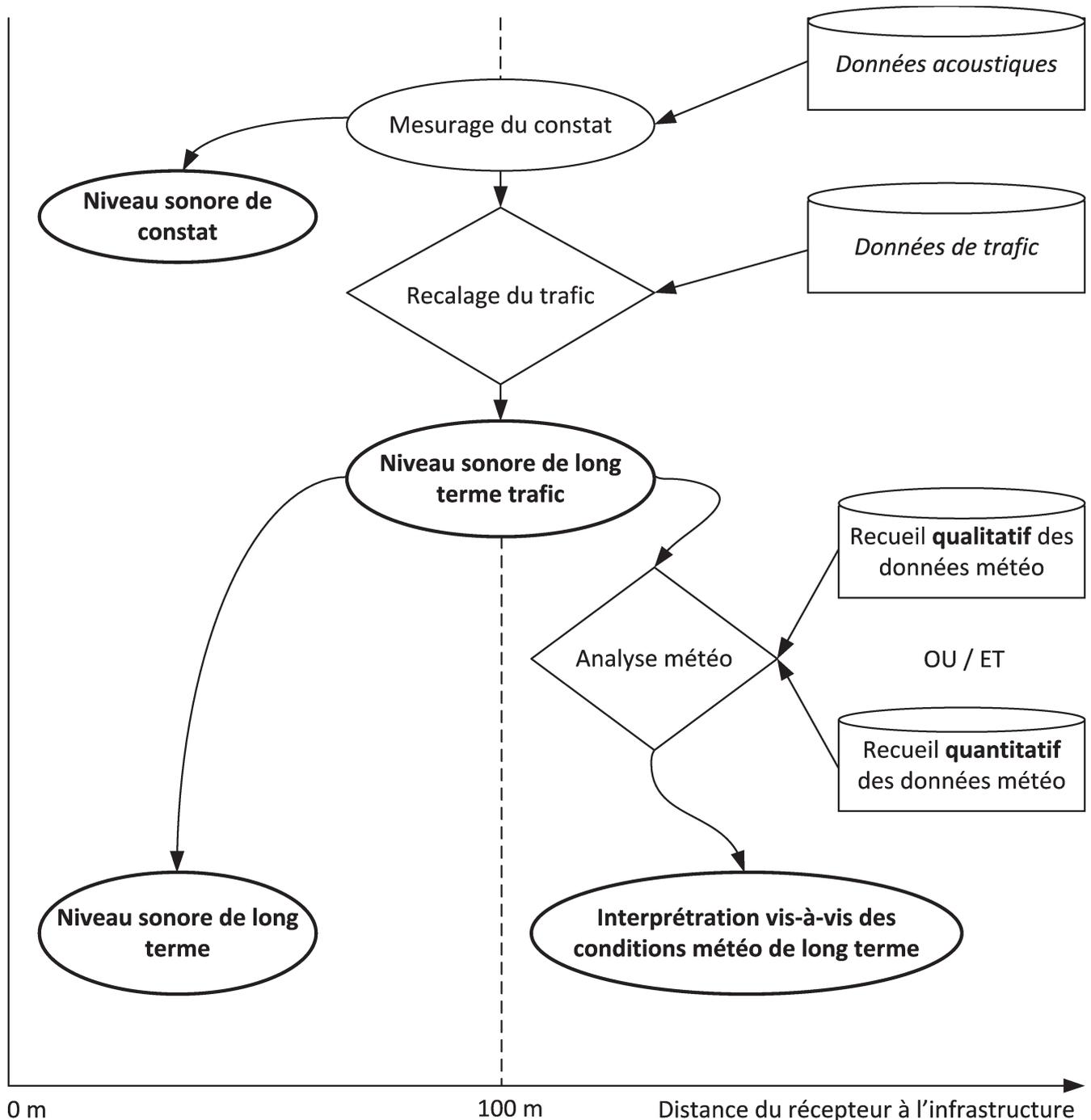


Figure 1 — Synoptique des différents cas d'estimation de la contribution sonore d'origine ferroviaire

La méthode précise les principes nécessaires à la séparation des sources de bruit pour la détermination de la contribution sonore d'une ou plusieurs voies de circulation ferroviaires, y compris dans le cas de multi-exposition de différentes sources ferroviaires ou autres.

Le présent document s'applique :

- aux circulations du système ferroviaire conventionnel et grande vitesse ;
- aux transports guidés par contact, à roulement fer, pneumatique ou mixte fer-pneumatique qui évoluent en « site propre » ;

NOTE 1 La limitation aux circulations ferroviaires évoluant en site propre permet de s'assurer que leur condition d'exploitation reste indépendante des aléas du trafic routier.

NF S 31-088

- aux circulations sur voies principales et sur voies de service ;
- au bruit émis par les circulations en ligne et lors de leur passage en gare ou station (décélération, stationnement, départ).

NOTE 2 L'Annexe A fournit un guide pour l'application de ce document dans le cas de mesures en gare et station.

Le présent document ne s'applique pas :

- à la caractérisation et au mesurage des bruits résultant d'activités ferroviaires telles que :
 - la maintenance des matériels ferroviaires (ateliers, dépôts) ;
 - la formation et le remisage des trains ;
- à la caractérisation et au mesurage du bruit émis par toute source fixe non intégrée au matériel roulant, même liée au trafic (bruit émis par une sous-station, bruit de sonorisation en gare,...) ;

dont les principes de mesurage sont décrits dans la norme NF S 31-010 ;

- à la caractérisation de l'émission sonore des véhicules circulant sur rail, dont les principes de mesurage sont décrits dans la norme NF EN ISO 3095 ;
- à la caractérisation du bruit de trafic des bus et trolleys.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

NF S 31-085, *Acoustique — Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier — Spécifications générales de mesurage.*

NF S 31-110, *Acoustique — Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement — Grandeurs fondamentales et méthodes générales d'évaluation.*

FD S 31-118, *Acoustique — Mesurage et évaluation de l'environnement acoustique — Méthode du LEQ court.*

NF EN 61672-1, *Electroacoustique — Sonomètres — Partie 1 : Spécifications (indice de classement : S 31-009-1).*

NF ENV 13005, *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure, complétée par le prFD ISO/GUIDE 98/S1:2008 (indice de classement : X 07-020).*

Guide ISO/CEI 98-3:2008, *Incetitude de mesure — Partie 3 : Guide pour l'expression de l'incertitude de mesurage (GUM:1995).*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions données dans la norme NF S 31-110 ainsi que les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1 Appareillage de mesure

Les définitions ci-après sont issues du document LabGTA15 révision 00 de juin 2007 édité par le COFRAC.

3.1.1**calibreur acoustique**

dispositif qui produit une pression acoustique sinusoïdale correspondant à un niveau de pression acoustique et à une fréquence spécifiés lorsqu'il est couplé à un microphone faisant partie de modèles spécifiés dans des configurations spécifiées

3.1.2**calibrage (d'un instrument de mesure)**

positionnement matériel de chaque repère (éventuellement de certains repères principaux seulement) d'un instrument de mesure en fonction de la valeur correspondante du mesurande

NOTE Ne pas confondre «calibrage», «étalonnage» et «ajustage». Le calibrage est de la responsabilité du constructeur. L'emploi d'un calibreur avant une mesure n'est pas un calibrage mais un étalonnage.

3.1.3**ajustage (d'un instrument de mesure)**

opération destinée à amener un instrument de mesure à un état de fonctionnement convenant à son utilisation

NOTE L'ajustage peut être automatique, semi-automatique ou manuel.

3.1.4**réglage (d'un instrument de mesure)**

ajustage utilisant uniquement les moyens mis à disposition de l'utilisateur

NOTE Le fait d'annuler un écart constitue un réglage.

3.1.5**étalonnage**

ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure, ou les valeurs représentées par une mesure matérialisée ou par un matériau de référence, et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisée par des étalons

NOTE 1 Le résultat d'un étalonnage permet soit d'attribuer aux indications les valeurs correspondantes du mesurande, soit de déterminer les corrections à appliquer aux indications.

NOTE 2 Un étalonnage peut aussi servir à déterminer d'autres propriétés métrologiques telles que les effets de grandeurs d'influence.

NOTE 3 Le résultat d'un étalonnage peut être consigné dans un document parfois appelé certificat d'étalonnage ou rapport d'étalonnage.

NOTE 4 La confusion entre les termes «Calibration» et «Etalonnage» a son origine dans la traduction anglais → français. L'utilisation du mot «Calibration» doit être évitée.

3.2 Intervalles**3.2.1****intervalle de référence**

intervalle de temps retenu pour caractériser une situation acoustique et pour déterminer de façon représentative l'exposition au bruit des personnes

Il peut être spécifié dans des normes, des textes réglementaires ou des cahiers des charges, de manière à englober les activités humaines typiques et les variations de fonctionnement des sources de bruit dans une situation donnée.

Il est composé d'un nombre entier d'intervalles de base, éventuellement disjoints.

[NF S 31-110]

NOTE L'intervalle de référence T peut être la valeur retenue par la réglementation pour caractériser une situation sonore. À titre d'exemple, pour le bruit routier et ferroviaire, T correspond aux périodes 6 h — 22 h, 22 h — 6 h, 6 h — 18 h ou 18 h - 22 h.

NF S 31-088

3.2.2

intervalle de mesurage

intervalle de temps au cours duquel la pression acoustique quadratique pondérée A est intégrée et moyennée

Dans le cas d'un mesurage utilisant des L_{eq} courts, intervalle au cours duquel la pression acoustique quadratique est échantillonnée en intervalles élémentaires.

[NF S 31-110]

3.2.3

intervalle de base

intervalle pour lequel les mesures sont jugées statistiquement représentatives du fonctionnement des sources ou infrastructures, et pour lesquelles les conditions météorologiques sont jugées stationnaires ou n'ont pas d'influence significative sur la propagation du son

NOTE 1 La stationnarité des conditions météorologiques est évaluée sur la base de la grille d'analyse $U_i T_i$.

NOTE 2 Il est admis que les conditions météorologiques ont une influence significative sur la propagation du son au-delà d'une distance source-récepteur de 100 m

[Définition adaptée de NF S 31-110]

3.2.4

intervalle élémentaire

intervalle sur lequel est mesuré le L_{eq} court (en général de l'ordre de la seconde, ou moins)

[NF S 31-110]

3.3 Niveaux sonores

3.3.1

niveau de pression acoustique continu équivalent $L_{eq,T}$

valeur du niveau de pression acoustique d'un son continu stable qui, au cours d'une période spécifiée T, a la même pression acoustique quadratique moyenne qu'un son considéré dont le niveau varie en fonction du temps. Il est défini par la formule :

$$L_{eq,T} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right]$$

où

$L_{eq,T}$ est le niveau de pression acoustique continu équivalent, en décibels, déterminé pour un intervalle de temps T qui commence à t_1 et se termine à t_2 ;

p_0 est la pression acoustique de référence (20 μ Pa) ;

$p(t)$ est la pression acoustique fonction du temps t, du signal acoustique.

NOTE Lorsque l'on désire préciser les bornes de l'intervalle de mesurage, $L_{eq,T}$ peut être écrit $L_{eq,(t_1,t_2)}$; par exemple, $L_{eq,(6h,22h)}$ est le niveau de pression acoustique continu équivalent déterminé entre 6 h et 22 h.

Lorsque la pression acoustique est pondérée en fréquence par la pondération "A", le niveau équivalent pondéré A de la pression acoustique est noté $L_{Aeq,T}$, et exprimé en dB(A).

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right]$$

[NF S 31-110]

3.3.2

niveau de pression acoustique de constat $L_{Aeq,Constat}$

niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A reflétant la situation acoustique pendant le mesurage

NOTE Il correspond au niveau de pression acoustique mesuré et validé, résultant d'un mesurage de constat.

3.3.3

niveau de pression acoustique représentatif du Long Terme trafic $L_{Aeq,LT,t}$

niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A considéré comme représentatif, vis-à-vis du trafic, de la situation acoustique pour l'intervalle de référence considéré. Il correspond à des conditions moyennes de trafic, représentatives d'une situation de long terme et aux conditions météorologiques existantes pendant la mesure

3.3.4

niveau de pression acoustique représentatif du Long Terme $L_{Aeq,LT}$

niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A considéré comme représentatif de la situation acoustique pour l'intervalle de référence considéré. Il correspond à des conditions moyennes de fonctionnement des sources et à des conditions météorologiques moyennes, représentatives d'une situation de long terme

Il peut être déterminé :

- soit à partir de mesurages sur une série d'intervalles de référence, appelée intervalle de long terme, conformément à la formule suivante :

$$L_{Aeq,LT} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1(L_{Aeq,T})_i} \right)$$

où

N est le nombre d'intervalles de référence ;

$(L_{Aeq,T})_i$ est le niveau acoustique continu équivalent pondéré A pendant le i ème intervalle de référence.

NOTE L'écart type calculé sur la série de valeurs $(L_{Aeq,T})_i$ permet d'apprécier l'importance des fluctuations des mesures :

- soit à partir de mesurages sur un intervalle de référence en se ramenant, par le calcul, dans les conditions moyennes des principaux paramètres d'influence (par exemple, conditions météorologiques, nombre de circulations, etc.). Dans ce cas, l'intervalle de long terme est l'intervalle de temps pendant lequel ces conditions moyennes demeurent inchangées ;
- soit à partir de calculs prévisionnels.

[adapté de NF S 31-110].

NOTE 1 La notion de «long terme» appliquée au ferroviaire correspond à une situation moyenne représentative de l'ensemble d'une année. L'année considérée peut-être l'année courante ou un horizon plus éloigné permettant de prendre en compte des évolutions futures d'exploitation de l'infrastructure.

NOTE 2 Dans la pratique, le long terme est évalué à partir de données de trafic moyennées sur une période d'au moins un an et de données météorologiques sur une période de l'ordre de 30 ans.

NOTE 3 Dans le présent document, pour des distances inférieures à 100 m, l'influence des conditions météorologiques peut-être négligée et le niveau de pression acoustique représentatif du Long Terme $L_{Aeq,LT}$ peut être assimilé au niveau de pression acoustique représentatif du Long Terme Trafic $L_{Aeq,LT,t}$.

3.4 Catégories de bruit

3.4.1

bruit ambiant

bruit total existant dans une situation donnée pour un intervalle de temps donné. Il est composé des bruits émis par toutes les sources proches et/ou éloignées

[NF S 31-110]

NF S 31-088

3.4.2

bruit particulier

composante du bruit ambiant résultant de l'émission de la (des) source(s) objet(s) de l'étude

3.4.3

bruit résiduel

bruit mesuré hors émission de la (des) source(s) de bruit objet(s) de l'étude

[NF S 31-110]

3.4.4

contribution sonore d'origine ferroviaire

composante de bruit (bruit particulier) relative au trafic ferroviaire. Elle est notée $L_{Aeq,T}[FER]$

3.5 Termes ferroviaires

3.5.1

types de matériel roulant

catégorie de matériel ferroviaire composant le train, par exemple :

- train de fret ;
- train à grande vitesse (TGV) ;
- train d'île de France (RER, Francilien) ;
- train de voyageurs (Trains Grande Ligne, TER,...) ;
- locomotives seules (locomotives haut-le-pied) ;
- tramways ;
- métro, etc.

3.5.2

types de circulation ferroviaire

convoi constitué d'un type de matériel déterminé se déplaçant à une allure donnée sur une infrastructure ferroviaire en un point d'observation donné

NOTE 1 La notion de circulation regroupe deux informations : le type de matériel et sa condition de circulation. Par exemple :

- train CORAIL à 160 km/h ;
- TGV-Atlantique à 300 km/h ;
- train de fret en décélération ;
- MI 79 en unité multiple (2 éléments) à 100 km/h ;
- tramway (sur pneus guidé par rail) marquant un arrêt en station.

NOTE 2 Dans le cas où les différentes voies d'une même infrastructure induisent des niveaux de bruit sensiblement différents, il est recommandé de définir les circulations ferroviaires par voie. C'est par exemple le cas d'infrastructures en rampe, de voies avec des armements différents ou d'états de surface du rail différents.

3.5.3

composition d'un matériel roulant

nombre de véhicules (engins moteurs et un certain nombre de voitures à voyageurs ou de wagons, etc.) ou nombre de rames indéformables du même type composant le train, par exemple :

- train CORAIL : une locomotive électrique et huit voitures CORAIL ;

- TGV-SE en unité multiple : deux rames TGV-SE sont accouplées ;
- train de fret : une locomotive diesel et trente wagons, etc.

3.5.4

site propre

plate-forme dédiée aux circulations ferroviaires, protégée de la circulation routière générale, et séparée des voies de circulation routière par une bordure infranchissable par les véhicules, sauf aux carrefours

3.6 Points de mesurage

3.6.1

point principal

point de mesurage pour lequel la contribution sonore ferroviaire est calculée uniquement à partir de données acquises en ce point. Il est noté «PP» dans la suite de ce document

3.6.2

point satellite

point de mesurage secondaire associé à un point principal. La contribution sonore d'origine ferroviaire est calculée à partir de données acquises en ce point et au point principal. Il est noté «PS» dans la suite de ce document

NOTE Ce point était précédemment appelé « point de prélèvement ».

3.6.3

point de détection

point situé à proximité immédiate de l'infrastructure ferroviaire à caractériser, permettant la détection des circulations ferroviaires

4 Principes du mesurage

4.1 Généralités

Le présent document permet la détermination de la contribution sonore due à un trafic ferroviaire pour un site, à partir :

- d'un mesurage acoustique pendant l'intervalle de mesurage, aux emplacements de mesurage et parallèlement si nécessaire de la détection des circulations au voisinage immédiat de l'infrastructure ferroviaire étudiée (point de détection) ;
- de l'identification des principaux facteurs d'influence pendant ce même intervalle de mesurage (météo, trafic) ;
- de l'estimation de l'état moyen représentatif de ces facteurs d'influence sur l'intervalle de référence dans le cas d'une estimation du niveau de pression acoustique représentatif du long terme.

4.2 Plan de mesurage

Pour l'organisation de campagnes de mesurage multipoints, le présent document permet :

- soit de considérer chaque point comme un point de mesurage principal ;
- soit d'optimiser le plan de mesurage en ayant recours à des points satellites associés à des points principaux. Cette technique permet de réduire les temps d'intervention sur site. Les conditions à respecter pour les points satellites sont précisées au § 5.6.3. Les calculs associés sont précisés au § 6.5.

4.3 Acquisitions

Les acquisitions acoustiques doivent être réalisées suivant la technique du L_{Aeq} court avec une durée d'intégration inférieure ou égale à une seconde (voir FD S 31-118).

NF S 31-088

Pour obtenir des résultats de mesurage valides, il convient que le bruit ambiant (mesuré lors des passages des circulations ferroviaires sur l'infrastructure considérée) soit supérieur de 10 dB au moins au bruit résiduel encadrant.

Les cas où cette condition n'est pas respectée sont traités aux paragraphes 5.6.4 et 10.2.

5 Mesurages acoustiques

5.1 Appareillage de mesurage

Aux emplacements de mesurage la pression acoustique doit être mesurée avec un appareillage d'un modèle approuvé, de type intégrateur et conforme à la classe 1 telle que définie dans la norme NF EN 61672-1, et qui doit permettre l'utilisation des techniques de L_{Aeq} courts d'une durée d'intégration inférieure ou égale à une seconde (voir FD S 31-118).

Lorsque la détection des circulations (voir 6.1) est effectuée avec un appareillage de mesure acoustique, ce dernier n'est pas nécessairement de classe 1 mais doit permettre l'acquisition des L_{Aeq} courts.

5.2 Contrôle de l'appareillage

L'appareillage de mesure (sonomètre ou chaîne de mesure, et calibre associé) doit faire l'objet :

- de contrôles périodiques portant sur les critères pertinents compte tenu de l'utilisation envisagée et pouvant être délégués à un organisme qualifié. À titre indicatif, la périodicité recommandée est de deux ans. Une liste type de contrôles pertinents pour un usage général est citée dans la norme NF S 31-110 ;
- de contrôles périodiques personnels : Le sonomètre ou la chaîne de mesure doit être auto-vérifié(e) au moins tous les six mois ou après chaque modification ou après une surcharge importante : le projet de guide technique prFD S 31-117 expose une méthode compatible avec cette exigence. À défaut, il est possible d'employer une méthode équivalente et documentée faisant l'objet d'une procédure d'assurance qualité. Le descriptif de cette méthode et les enregistrements associés doivent être disponibles et pouvoir être joints au rapport de mesurage ;
- de contrôles sur site lors de chaque opération : L'utilisateur doit faire au moins avant et après chaque série de mesurages, un étalonnage de l'appareillage à l'aide d'un calibre acoustique d'une classe au moins équivalente à celle de la chaîne de mesure, à au moins une fréquence comprise entre 250 Hz et 1 000 Hz. Ces deux étalonnages ne doivent pas être espacés de plus de 72 h et doivent être enregistrés sur le même support que le signal de mesure. Si les valeurs des étalonnages diffèrent de plus de 0,5 dB, les mesurages sont invalidés.

5.3 Précautions opératoires

Avant tout mesurage, l'opérateur doit s'assurer que la dynamique et le bruit de fond de l'appareillage sont compatibles avec les signaux à mesurer.

Par ailleurs pour respecter les précautions d'usage de l'appareillage, il est nécessaire de vérifier que les contraintes liées aux conditions météorologiques sur l'appareillage ne sont pas excessives. Le détail des conditions à respecter est fourni dans la norme NF S 31-110.

Dans le cas particulier d'un site soumis à des bruits spécifiques liés aux conditions météorologiques, il sera nécessaire de s'assurer de l'occurrence de ces conditions météorologiques (par exemple bruit de crissement en courbe modifié par la pluie, ..).

Dans le cas de mesurages de constat, il convient de choisir la date de mesurage pour correspondre aux conditions usuelles d'exploitation de l'infrastructure ferroviaire. De façon générale, les meilleures conditions de représentativité du trafic sont obtenues dans la période comprise entre le lundi 12 h et le vendredi 12 h.

5.4 Critère de validation de l'échantillonnage des circulations

L'échantillonnage d'un type de circulation sera valide s'il comporte au moins 5 valeurs et conduit à une incertitude élargie inférieure ou égale à 1,9 dB. Cette incertitude est fournie dans le Tableau 1.

La démonstration du respect de ces critères sera fournie avec les résultats globaux de l'essai.

Tableau 1 — Incertitude élargie associée à l'échantillonnage (en dB(A))

N°	Ecart-type des valeurs mesurées $L_{Aeq,T}$ en dB(A)											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
5	0,5	1,1	1,9	2,8	4,0	5,4	7,2	9,1	11,4	13,9	16,7	19,8
6	0,4	0,9	1,5	2,3	3,2	4,2	5,5	6,9	8,6	10,4	12,4	14,6
7	0,4	0,8	1,3	2,0	2,7	3,5	4,5	5,7	7,0	8,4	10,0	11,8
8	0,4	0,7	1,2	1,7	2,4	3,1	3,9	4,9	6,0	7,2	8,5	10,0
9	0,3	0,7	1,1	1,6	2,1	2,8	3,5	4,3	5,3	6,3	7,5	8,8
10	0,3	0,6	1,0	1,4	1,9	2,5	3,2	3,9	4,8	5,7	6,7	7,9
12	0,3	0,6	0,9	1,3	1,7	2,2	2,7	3,3	4,0	4,8	5,7	6,6
14	0,2	0,5	0,8	1,1	1,5	1,9	2,4	3,0	3,6	4,2	5,0	5,8
16	0,2	0,5	0,7	1,0	1,4	1,8	2,2	2,7	3,2	3,8	4,5	5,2
18	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	2,5	2,9	3,5	4,1	4,7
20	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,3	2,7	3,2	3,8	4,3
25	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,2	3,7
30	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8	3,3

NOTE 1 Le Tableau 1 est issu de la norme NF S 31-084:2002.

NOTE 2 L'incertitude élargie de 1,9 dB correspond à un écart-type de 2,5 dB(A) pour un échantillon de 10 mesures avec un intervalle de confiance de 95 % sous hypothèse de normalité de la distribution des niveaux sonores.

NOTE 3 Lorsque l'incertitude élargie demeure supérieure à 1,9 dB malgré l'augmentation de la taille de l'échantillon, il convient de revoir la définition des types de circulation.

5.5 Emplacements de mesurage

5.5.1 Mesurages en façade de bâtiment

Les emplacements de mesurage à proximité d'immeubles doivent être situés à 2 m en avant des parties les plus avancées des façades des bâtiments et, si possible, au centre des façades. Si l'emplacement de mesurage se trouve en face d'une fenêtre, celle-ci doit être fermée pendant le mesurage.

Lorsque le mesurage a pour objet d'apprécier les conditions éventuelles d'apparition d'une gêne sonore, le mesurage doit être effectué au centre de la portion de façade concernée du bâtiment.

5.5.2 Autres cas de mesurage

Les spécifications d'emplacement de mesurage de la norme NF S 31-110 s'appliquent.

5.6 Intervalle de mesurage

5.6.1 Cas général pour le point principal

Le mesurage doit être effectué sur la totalité de l'intervalle de référence.

NF S 31-088

5.6.2 Optimisation de la durée de mesurage au point principal en l'absence de point satellite

Lorsque les trois conditions suivantes sont simultanément satisfaites :

- a) l'écart, en terme de L_{Aeq} , entre le bruit ambiant au passage de circulations ferroviaires et le bruit résiduel est supérieur ou égal à 10 dB(A) ;
- b) les points de mesurage sont à une distance inférieure à 100 m de l'infrastructure étudiée (effets météorologiques non significatifs) ;
- c) les conditions de circulation sont représentatives de celles existant sur l'ensemble de l'intervalle de référence.

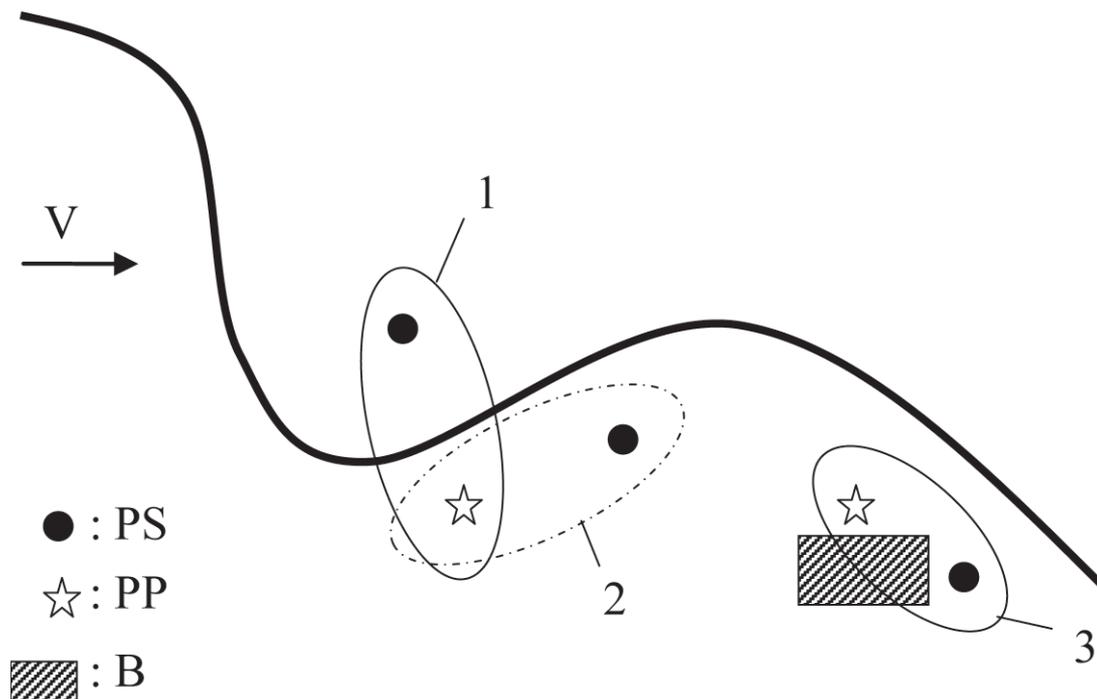
L'intervalle de mesurage peut être réduit à l'intervalle de base. Dans ce cas l'échantillonnage des circulations doit respecter les critères du § 5.4.

5.6.3 Conditions à respecter pour le point satellite

Les points de mesure satellite ne peuvent être réalisés que dans les conditions cumulatives suivantes :

- a) pour tout point satellite réalisé pendant une partie d'un intervalle de référence, on doit effectuer simultanément au moins un point principal pendant l'intégralité de l'intervalle de référence considéré et la période de prélèvement doit coïncider avec au moins un intervalle de base du point principal. L'intervalle de base correspond à l'acquisition d'un échantillon de circulations respectant les critères du § 5.4 et à des conditions de météo stationnaires (au sens de la grille $U_i T_i$) ;
- b) le point satellite et le point principal correspondant sont situés dans des zones homogènes vis-à-vis de l'émission sonore de la source, c'est-à-dire : mêmes sources de bruit affectant la mesure au point satellite et au point principal correspondant ;
- c) le point satellite et le point principal correspondant sont situés dans des zones homogènes vis-à-vis de la propagation sonore, c'est-à-dire :
 - 1) soit le point satellite et le point principal correspondant sont situés tous les deux à une distance par rapport à l'infrastructure inférieure à 100 m (cas c.1) ;
 - 2) soit les quatre conditions suivantes sont respectées simultanément (cas c.2) :
 - i) distance point satellite — point principal inférieure à 100 m si l'un de ces points est situé à plus de 100 m de l'infrastructure ;
 - ii) équivalence des rapports $\frac{\text{Hauteur par rapport au sol}}{\text{Distance par rapport à la source}}$ du point satellite et du (des) point(s) principal(aux) correspondant(s) ;
 - iii) équivalence des milieux de propagation en termes de topographie, présence d'obstacles et nature du sol, entre la source et le point satellite et entre la source et le(s) point(s) principal(aux) correspondant(s) ;
 - iv) équivalence de la position relative de l'infrastructure vue du point satellite et vue du point principal par rapport à la direction du vent (voir Figure 2).

Dans le cas c.2, c'est-à-dire lorsqu'au moins l'un des deux points est situé à plus de 100 m de l'infrastructure, si les deux premières conditions ne sont pas satisfaites, l'extrapolation des résultats au point satellite par rapport à ceux du point principal sur l'intervalle de référence considéré ne permet qu'une grossière estimation du niveau sonore en ce point et sur cet intervalle.



Légende

V Vent

B Bâtiment

PP Point Principal

PS Point Satellite

- 1 Position infrastructure-point satellite par rapport au vent différente de la position infrastructure-point principal : point satellite non valide
- 2 Position infrastructure-point satellite par rapport au vent identique à la position infrastructure-point principal : point satellite valide
- 3 Position infrastructure-point satellite par rapport au vent différente de la position infrastructure-point principal : point satellite non valide

Figure 2 — Conditions de validité des points satellites

5.6.4 Traitement des cas où l'écart entre le bruit ambiant au passage de circulations ferroviaires et le bruit résiduel est inférieur à 10 dB

Dans le cas où le bruit résiduel présente des événements perturbateurs et conduit avec les critères du § 10.1 à rejeter la mesure de la contribution sonore ferroviaire, l'intervalle de mesurage peut-être réduit à la durée nécessaire à cette démonstration sous réserve que l'application du cas 5.6.2 ne soit pas possible.

6 Détermination de la contribution sonore due au trafic ferroviaire

6.1 Principe de détection des circulations ferroviaires sur site

Comme précisé dans le domaine d'application (voir Article 1) de ce document, le trafic ferroviaire est caractérisé par une exploitation cadencée à caractère périodique avec un nombre d'événements déterminé.

Dans ces conditions, afin de déterminer la contribution sonore de ces seules circulations ferroviaires, il faut procéder à la détection de ces événements sur l'ensemble de l'intervalle de mesurage.

Cette détection doit fournir les informations relatives au passage effectif de la circulation ferroviaire.

NF S 31-088

Si les circulations ferroviaires de l'infrastructure considérée peuvent être identifiées sans ambiguïté sur l'évolution temporelle des L_{Aeq} courts à l'emplacement de mesurage, l'identification des circulations ferroviaires sera effectuée sur le signal sonore enregistré à l'emplacement de mesurage. Dans le cas contraire, un système de détection sera utilisé.

En l'absence d'utilisation d'un système de détection des circulations, la pertinence des méthodes d'identification des circulations devra être démontrée.

6.2 Système de détection des circulations ferroviaires

Le système de détection doit permettre de déterminer les horaires de début et de fin de passage des circulations ferroviaires afin d'identifier ces événements avec précision, cette information étant nécessaire pour la détermination de la contribution sonore d'origine ferroviaire.

Lorsque le système de détection est un sonomètre, les principes à respecter pour son implantation sont les suivants :

- vue directe sur l'infrastructure étudiée ;
- peu d'influence des autres sources sonores existant sur le site de mesure ;
- synchronisation avec le point de mesure servant à caractériser le bruit du trafic ferroviaire.

6.3 Codage du signal de mesure

Cette opération consiste à affecter à chaque valeur de L_{eq} élémentaire correspondant au passage d'une circulation ferroviaire, un code spécifique «ferroviaire».

En l'absence de système de détection, le codage est effectué par post-traitement directement sur le signal de mesure.

En présence d'un système de détection, l'information relative au passage des circulations sera reportée sur le signal de mesure.

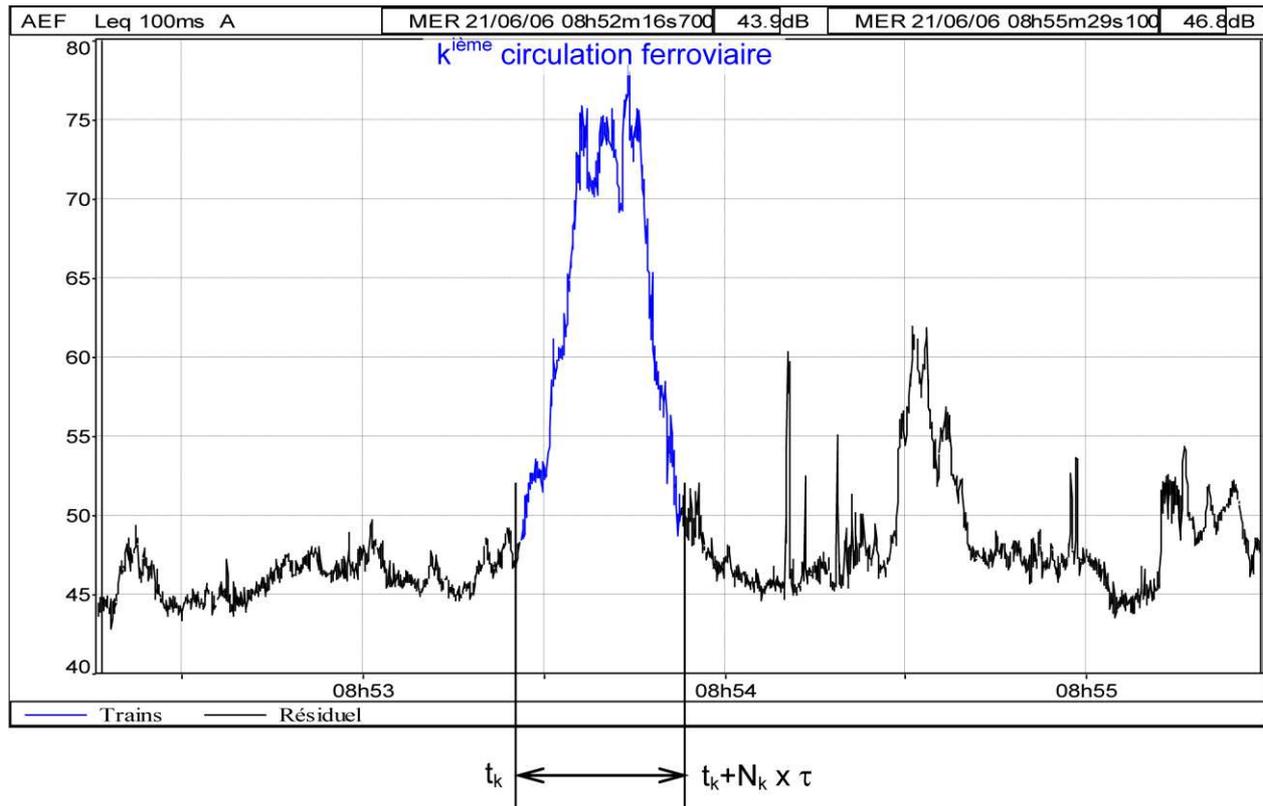
Dans le cas d'emplacements de mesurage éloignés du point de détection, l'opérateur doit procéder à un ajustement des informations de détection avant report sur le signal de mesure.

Dans un but de traçabilité, les données brutes de codage seront conservées ainsi que l'ensemble des éléments qui ont permis l'identification de la (des) source(s).

Dans ces conditions, l'opérateur dispose des informations suivantes, au passage de la circulation ferroviaire numéro k :

- instant de début : t_k ;
- nombre de L_{eq} courts élémentaires : N_k ;
- instant de fin : $t_k + N_k \times \tau$ où τ est la durée du L_{eq} court ;
- durée du passage : $N_k \times \tau$;
- évolution temporelle du bruit au passage de la circulation entre les instants t_k et $t_k + N_k \times \tau$.

Ces informations sont précisées dans la Figure 3.



$N_k \times \tau$: durée de passage de la $k^{\text{ième}}$ circulation ferroviaire

Figure 3 — Codage du signal de mesure pour identification d'une circulation ferroviaire

t_k et $N_k \times \tau$ n'ont pas donné lieu à des définitions précises car une erreur sur leur détermination n'entraîne pas une incertitude élevée sur le résultat, si l'on s'est assuré de prendre en compte la totalité de l'énergie sonore du passage. Par contre, ils peuvent avoir une influence notable sur la durée cumulée de passage des circulations. En conséquence, une vérification de la cohérence de la durée des passages de chaque circulation doit être réalisée et une liste des circulations avec un horodatage et les durées de passage associées doit être fournie dans le procès-verbal d'essai.

NOTE Dans le cas d'un codage automatique, il convient de réaliser une vérification systématique de chaque événement codé.

6.4 Calcul de la contribution sonore d'origine ferroviaire

6.4.1 Généralités

La contribution sonore d'origine ferroviaire $L_{Aeq,T}[FER]$ doit être déterminée pour les intervalles de référence et est ci-après dénommée $L_{Aeq,Constat}[FER]$ pour le résultat d'un mesurage de constat et $L_{Aeq,LT,t}[FER]$ pour l'estimation du long terme trafic.

6.4.2 Calcul du $L_{Aeq, Constat}[FER]$

Pour la période de référence de durée $T_{Réf}$, la contribution sonore due à la $k^{\text{ième}}$ circulation a pour expression :

$$L_{Aeq,Constat}^k[FER] = 10 \cdot \log \left(\frac{\tau}{T_{Réf}} \sum_{n=1}^{N_k} 10^{0,1(L_{Aeq,\tau})_{nk}} \right)$$

NF S 31-088

où

τ est la durée du L_{Aeq} court en secondes ;

N_k est le nombre de L_{Aeq} courts correspondant au passage de la $k^{\text{ème}}$ circulation ;

$(L_{Aeq,\tau})_{nk}$ est le $n^{\text{ième}}$ L_{Aeq} court de la circulation k .

Dans ces conditions, la contribution sonore due à un trafic total de K circulations tous types confondus sur la période de référence de durée $T_{\text{Réf}}$ a pour expression :

$$L_{Aeq,Constat}[FER] = 10 \cdot \log \left(\frac{\tau}{T_{\text{Réf}}} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^{N_k} 10^{0,1(L_{Aeq,\tau})_{nk}} \right)$$

NOTE Ce mode de calcul de la contribution ferroviaire ne nécessite pas l'identification des différents types de circulations ferroviaires.

6.4.3 Calcul du $L_{Aeq,LT,t}[FER]$

L'estimation long terme trafic de la contribution sonore d'origine ferroviaire pour un trafic composé de P types de circulations s'exprime par :

$$L_{Aeq,LT,t}[FER] = 10 \cdot \log \left(\sum_{p=1}^P 10^{0,1L_{Aeq,LT,t}^p[FER]} \right)$$

où

$L_{Aeq,LT,t}^p[FER]$ est la contribution sonore d'origine ferroviaire du type de circulation p , en dB(A), considérée comme représentative de la situation de long terme trafic (LTt) pour l'intervalle de référence $T_{\text{Réf}}$.

L'ajustement en fonction des caractéristiques du trafic doit être effectué pour chaque type de circulation courante p selon la formule suivante :

$$L_{Aeq,LT,t}^p[FER] = L_{Aeq,T_{\text{Réf}}}^p[FER] + 10 \cdot \log \frac{N_{LT}^p}{N_{T_{\text{Réf}}}^p} + \alpha \cdot \log \frac{V_{LT}^p}{V_{T_{\text{Réf}}}^p}$$

où

$L_{Aeq,T_{\text{Réf}}}^p[FER]$ est la contribution sonore d'origine ferroviaire du type de circulation p , en dB(A), mesurée sur l'intervalle de référence $T_{\text{Réf}}$;

N_{LT}^p est le nombre total de circulations ferroviaires du type p , considéré comme représentatif de la situation de long terme trafic pour l'intervalle de référence $T_{\text{Réf}}$;

$N_{T_{\text{Réf}}}^p$ est le nombre total de circulations ferroviaires du type p , mesurées sur l'intervalle de référence $T_{\text{Réf}}$;

V_{LT}^p est la vitesse représentative de la situation de long terme trafic pour le type de circulation p , fonction des caractéristiques de l'infrastructure ferroviaire. Elle correspond à la vitesse commerciale du type de circulation ;

$V_{T_{Réf}}^p$ est la vitesse moyenne observée pour le type de circulation p sur l'intervalle de référence $T_{Réf}$;

α est le coefficient d'évolution en vitesse des niveaux de bruit des circulations ferroviaires. $\alpha = 30$ pour des vitesses de circulation comprises entre 40 et 320 km/h dans le cas d'un transport guidé à roulement fer. Pour les autres cas, la valeur de α devra être justifiée (par exemple autres vitesses, autre type de transport guidé).

Pour les circulations marquant un arrêt en station, la correction en vitesse ne sera pas appliquée.

6.4.4 Calcul du $L_{Aeq, T_{Réf}}^p$ [FER] de chaque type de circulation p à partir de mesurages sur l'intervalle de référence

Pour la période de référence de durée $T_{Réf}$, la contribution sonore due à la $k^{\text{ième}}$ circulation a pour expression :

$$L_{Aeq, T_{Réf}}^k [FER] = 10 \cdot \log \left(\frac{\tau}{T_{Réf}} \sum_{n=1}^{N_k} 10^{0,1(L_{Aeq, \tau})_{nk}} \right)$$

où

τ est la durée du L_{Aeq} court en secondes ;

N_k est le nombre de L_{Aeq} courts correspondant au passage de la $k^{\text{ième}}$ circulation ;

$(L_{Aeq, \tau})_{nk}$ est le $n^{\text{ième}}$ L_{Aeq} court de la circulation k .

Dans ces conditions, la contribution sonore due à un trafic de K_p circulations de type p sur la période de référence de durée $T_{Réf}$ a pour expression :

$$L_{Aeq, T_{Réf}}^p [FER] = 10 \cdot \log \left(\frac{\tau}{T_{Réf}} \sum_{k=1}^{K_p} \sum_{n=1}^{N_k} 10^{0,1(L_{Aeq, \tau})_{nk}} \right)$$

6.4.5 Calcul du $L_{Aeq, T_{Réf}}^p$ [FER] de chaque type de circulation p lorsque la durée de mesure a été optimisée (voir 5.6.2)

La contribution sonore d'un type de circulation ferroviaire p est obtenue à partir des niveaux sonores de toutes les circulations de ce type mesurés sur leur intervalle de base respectif.

$$L_{Aeq, T_{Réf}}^p [FER] = L_{Aeq, T_{base}}^p [FER] + 10 \cdot \log \frac{N_{T_{Réf}}^p}{N_{T_{base}}^p} + 10 \cdot \log \frac{T_{base}}{T_{Réf}}$$

où

$N_{T_{Réf}}^p$ est le nombre de circulations ferroviaires de type p sur l'intervalle de référence ;

$N_{T_{base}}^p$ est le nombre de circulations ferroviaires de type p sur l'intervalle de base ;

T_{base} est la durée de l'intervalle de base ;

$L_{Aeq, T_{base}}^p [FER]$ est obtenu selon le principe de calcul du 6.4.4 en remplaçant $T_{Réf}$ par T_{base}

NF S 31-088

6.4.6 Validation de l'estimation de la situation de Long Terme trafic

L'estimation de la situation de long terme trafic est valide si les conditions d'obtention du $L_{Aeq,LT,t}^P[FER]$ respectent les critères d'échantillonnage des circulations du 5.4.

Lorsque les critères d'échantillonnage d'un ou plusieurs types de circulation ne sont pas respectés, la situation de long terme trafic de l'ensemble des circulations ferroviaires reste valide si l'influence de la contribution de l'ensemble des circulations invalides est inférieure à 1 dB(A).

NOTE Cette situation peut se rencontrer dans le cas de mesures couvrant la totalité de l'intervalle de référence et pendant lequel il y a peu de passages pour un type de circulation donné.

6.5 Corrélation entre les niveaux sonores d'un point principal et d'un point satellite

6.5.1 Calcul de l'écart moyen entre les niveaux sonores de deux points de mesure

Lorsque les mesures en un point principal PP et un point satellite PS répondent aux exigences du 5.6.3, un écart moyen $\langle \Delta \rangle$ entre les niveaux sonores des deux points est calculé pour l'ensemble des circulations ferroviaires selon la formule suivante :

$$\langle \Delta \rangle = 10 \cdot \log \left[\sum_{k=1}^K \left(10^{L_{Aeq,T,PS}^k / 10} \right) \right] - 10 \cdot \log \left[\sum_{k=1}^K \left(10^{L_{Aeq,T,PP}^k / 10} \right) \right]$$

avec

K est le nombre de circulations mesurées sur la période.

6.5.2 Validation de l'écart moyen entre les niveaux sonores de deux points de mesure

L'écart moyen, obtenu sur un échantillon de circulations, est valide si :

- le nombre de circulations est supérieur ou égal à 5 ;
- l'écart-type sur l'échantillon des écarts associés à chaque circulation est inférieur ou égal à 1,0 dB ;

Les circulations peuvent être de tous types mais doivent être consécutives. L'élimination de valeurs aberrantes est autorisée mais doit être justifiée.

6.5.3 Détermination du niveau sonore d'un point satellite par rapport à un point principal

Si les deux points respectent les spécifications détaillées au 5.6.3, le niveau sonore reflétant la situation acoustique au point satellite sur un intervalle de référence est calculé par la formule suivante :

$$L_{Aeq,T,PS}[FER] = L_{Aeq,T,PP}[FER] + \langle \Delta \rangle$$

où

$L_{Aeq,T,PS}[FER]$ est la contribution sonore d'origine ferroviaire au point satellite sur l'intervalle de référence considéré ;

$L_{Aeq,T,PP}[FER]$ est la contribution sonore d'origine ferroviaire au point principal sur l'intervalle de référence considéré ;

$\langle \Delta \rangle$ est l'écart moyen entre les deux points sur l'intervalle de référence considéré, calculé selon 6.5.1.

7 Conditions météorologiques

L'appréciation de l'influence et les contraintes liées aux conditions météorologiques précisées dans la norme NF S 31-110 sont applicables.

8 Description du sol

L'appréciation de l'influence et les contraintes liées aux effets de sol précisées dans la norme NF S 31-110 sont applicables.

9 Caractéristiques du trafic ferroviaire

Les caractéristiques du trafic ferroviaire sont les suivantes :

- les types de circulation (matériel roulant et vitesse associée) ;
- le nombre de passages de chaque type de circulation ;
- le sens et la voie de circulation ;
- les conditions de circulation (vitesse, arrêt, freinage, ...).

En fonction de l'objectif visé, ces caractéristiques doivent être établies pour chaque intervalle considéré (intervalle de référence, intervalle de mesurage), On distingue les situations suivantes :

- niveau de pression acoustique de constat : aucune donnée de trafic n'est nécessaire pour le calcul sauf dans le cas du § 5.6.2 pour lequel le nombre de circulations ferroviaires de chaque type doit être connu.

NOTE Il convient néanmoins que des données de trafic sommaires (nombre total de circulations et types de matériel roulant) soient fournies dans le procès-verbal d'essai (voir § 11).

- niveau de pression acoustique représentatif de la situation de long terme trafic : dans ce cas, il est indispensable de connaître les caractéristiques détaillées du trafic.

10 Validation et utilisation des résultats

10.1 Élimination et remplacement des bruits perturbateurs (parasites ou masquants)

10.1.1 Bruit parasite

Des valeurs de L_{Aeq} courts aberrantes (du fait de bruits parasites, par exemple : aboiement de chien ou de circonstances particulières) vis-à-vis du bruit des circulations ferroviaires peuvent exister. Elles sont éliminées par codage et peuvent être remplacées, quand cela est possible, par des valeurs estimées. Au-delà de 10 % de valeurs aberrantes, le mesurage de la circulation est rejeté. Le mode de correction utilisé doit être précisé dans le procès-verbal d'essai.

10.1.2 Bruit masquant

Si le bruit résiduel perturbe, de façon continue ou intermittente le bruit ferroviaire par des événements sonores de niveaux comparables ou supérieurs (à partir de -3 dB) aux niveaux élémentaires obtenus pendant le passage de certaines circulations, les mesurages des circulations correspondantes doivent être rejetés. L'identification des événements masquants (par exemple : circulation routière) doit être effectuée au point de réception (point principal ou satellite).

NOTE 1 L'analyse des enregistrements aux points de détection peut aider à la détection des événements masquants.

NF S 31-088

NOTE 2 Dans le cas de circulations ferroviaires marquant un arrêt en station, le bruit résiduel peut masquer la phase d'arrêt et pourrait conduire ainsi à rejeter les mesurages de l'ensemble des circulations de ce type. Il convient alors de scinder les différentes phases de la circulation.

10.1.3 Critère sur le nombre de circulations rejetées

Si le nombre de circulations rejetées, constaté sur l'intervalle de mesurage, est inférieur à 10 % pour un type donné de circulations ferroviaires, la mesure de ce type de circulation est considérée valide.

Au-delà de 10 % de circulations rejetées pour un type donné, la mesure de ce type de circulation est invalidée.

10.2 Influence du bruit résiduel sur la validation des résultats de la contribution sonore ferroviaire $L_{Aeq,T}[FER]$

Lorsque le bruit instantané d'une circulation ferroviaire émerge de moins de 10 dB par rapport au bruit résiduel encadrant, la contribution sonore ferroviaire calculée pour ce type de circulation est surestimée, celle-ci intégrant une contribution du bruit résiduel.

Dans ce cas, la contribution sonore globale (incluant tous les types de circulations) reste valide si l'influence des circulations surestimées est inférieure à 0,4 dB.

NOTE La valeur de 0,4 dB provient de l'addition de 2 sources sonores décorréelées dont le niveau diffère de 10 dB.

EXEMPLE Pour une configuration de trafic ferroviaire comprenant 150 circulations FRET et 2 circulations TER, ces dernières émergeant insuffisamment du bruit résiduel, la contribution sonore globale $L_{Aeq}[FRET+TER]$ reste valide si $L_{Aeq,T}[FRET+TER] - L_{Aeq,T}[FRET] < 0,4dB$.

10.3 Utilisation des résultats

Pour le recalage de modèles, seuls des résultats valides de la contribution sonore ferroviaire doivent être utilisés.

Pour démontrer le respect d'une valeur limite à ne pas dépasser, des résultats non valides au sens du § 10.2 mais inférieurs à cette valeur limite peuvent être utilisés.

11 Procès-verbal d'essai

Le procès-verbal d'essai doit faire référence au présent document et détailler les points suivants :

a) but du mesurage ;

Préciser s'il s'agit d'un mesurage de constat ou d'un mesurage visant à déterminer une situation de long terme trafic.

b) dates et heures précises de début et de fin des mesurages ;

c) localisation précise des mesurages :

- adresse du riverain concerné ;
- façade concernée ou autre situation (champ libre,...) ;
- hauteur par rapport au sol ;

d) coordonnées et identification du laboratoire qui effectue le mesurage. Dans le cas de sous-traitance de certaines prestations techniques, coordonnées et identification des sous-traitants éventuels en identifiant les parties sous-traitées ;

- e) description du site :
- plan de situation avec indication d'orientation (vue aérienne) ;
 - plan de masse avec indication du bâti existant et des obstacles réfléchissants, de l'infrastructure considérée, du profil du terrain entre le point de mesurage et l'infrastructure, de la position des points de mesurage et de leur distance horizontale au bord de l'infrastructure considérée. Préciser l'échelle qui devrait être de l'ordre de 1/250 à 1/5 000) ;
 - photographies sur lesquelles apparaissent l'infrastructure considérée et le(s) point(s) de mesurage ;
 - estimation de l'angle de vue en degré de l'infrastructure à partir du point de mesurage ;
 - description succincte de la nature des sols et de son état au moment de la mesure près de la source, près du récepteur et entre la source et le récepteur (voir classification acoustique des sols au § 7.4 de la norme NF S 31-110) ;
- f) conditions météorologiques au cours des mesurages :
- évolution temporelle des vitesses de vent ;
 - couverture nuageuse ;
 - taux d'occurrence des conditions de propagation favorable, homogène, défavorable pour chaque intervalle de référence considéré pour une direction de propagation au point de mesurage perpendiculaire à l'infrastructure ;
- g) caractéristiques de l'infrastructure ferroviaire considérée :
- repérage des points kilométriques ;
 - position de l'infrastructure par rapport au sol (en remblai, en déblai, etc.) ;
 - nombre de voies équipant l'infrastructure ;
 - protection acoustique (écran, butte de terre, etc), s'il y a lieu ;
 - profil en long (déclivité en mm/m) ;
 - type de pose de voie :
 - voie ballastée, voie sur dalle avec rails incorporés ou non ;
 - revêtements éventuels: gazon, pavés, enrobé bitumineux, etc ;
 - traverses : béton, bois, métalliques, etc ;
 - rails : longs rails soudés ou rails éclissés (présence de joints de rail) ;
 - présence de points singuliers sur la voie : aiguillages, ponts métalliques, courbes de faible rayon induisant du crissement ;
- h) caractéristiques du trafic ferroviaire conformément au § 9 ;
- i) appareillages de mesurage acoustiques et météorologiques utilisés : nature, marque, type, numéro de série, date de la dernière vérification météorologique périodique acoustique et nom du laboratoire l'ayant réalisée ;
- j) système de détection utilisé pour l'identification des circulations ferroviaires ;

NF S 31-088

- k) résultats globaux de l'essai (suivant le type de mesurage effectué) :
- résultats des contrôles sur site de l'appareillage de mesure : validité de la série de mesurage, démontrée par la présentation des valeurs d'étalonnage ;
 - dans le cas où un échantillonnage des circulations a été réalisé : démonstration du respect des critères de représentativité des échantillons retenus (voir § 5.4) ;
 - niveau sonore continu équivalent déterminé sur la période de référence, pour :
 - l'ensemble des sources sonores : (bruit ambiant) ;
 - la contribution sonore des seules circulations ferroviaires : (bruit particulier d'origine ferroviaire) ;
 - la contribution sonore des autres sources: (bruit résiduel, présence d'événements parasites ou masquants) ;
 - niveau sonore continu équivalent de long terme trafic correspondant à la seule contribution sonore d'origine ferroviaire. Le résultat sera accompagné des hypothèses prises pour le trafic à terme ;
 - les résultats et calculs intermédiaires (en terme de niveau sonore) seront présentés avec une décimale. Il est recommandé d'exprimer les résultats avec les incertitudes de mesure associées ;
- l) résultats partiels de l'essai dans le cas de mesurage sur un intervalle de base. Ils doivent être présentés dans le procès-verbal d'essai en s'inspirant des indications ci-dessus.

12 Incertitudes de mesure

L'incertitude des résultats issus des mesurages effectués conformément au présent document doit être évaluée, de préférence conformément au Guide ISO/CEI 98-3. Lorsqu'ils sont mentionnés, l'incertitude de mesure élargie ainsi que le facteur d'élargissement correspondant, pour un niveau de confiance déclaré de 95 %, tel que définie dans le Guide ISO/CEI 98-3, doivent être donnés. Des informations pour la prise en compte des incertitudes de mesure sont données dans l'Annexe B.

Annexe A (informative)

Guide d'application pour les mesures en gare et station

A.1 Sources acoustiques spécifiques en gare et station

Dans le cas de mesures en station, le tableau ci-dessous précise les sources acoustiques à prendre en considération comme relevant du bruit de trafic ferroviaire :

Type de Bruit	Prise en compte (Oui/Non)
Bruit d'accélération, bruit de freinage, trains marquant un arrêt en station	Oui
Bruiteurs lors de l'ouverture et la fermeture des portes	Oui
Avertissement sonore émis (cas des tramways notamment)	Oui
Trains en attente sur leur voie de départ (pré-conditionnement ou attente à l'arrivée et au départ)	Oui
Annonces en gare, Sifflet du Chef de service	Non
Clients	Non
Bruit des équipements fixes de la station (climatisation, tableaux d'affichage, ...)	Non

A.2 Description de la station

Dans le cas de mesures en station, les caractéristiques de l'infrastructure demandées dans le procès-verbal d'essai au § 11 doivent comprendre un descriptif sommaire des éléments principaux susceptibles d'influer sur la propagation du son :

- couverture de la station (marquise, abris,...) ;
- existence d'une avant-gare ;
- quais hauts ;
- etc.

Annexe B (informative)

Informations pour la prise en compte des incertitudes de mesure

B.1 Généralités

L'incertitude de mesure est composée de deux postes principaux :

- l'incertitude liée à l'échantillonnage des mesures ;
- l'incertitude liée à l'instrumentation (y compris l'impact lié à l'environnement).

Les méthodes permettant l'estimation des incertitudes de mesure sont décrites dans la norme NF ENV 13005 complété par le PR FD ISO/GUIDE 98/S1:2008. L'estimation de l'incertitude liée à la répétabilité et la reproductibilité des mesures fait l'objet de la norme NF ISO 5725-2.

Une application de ces documents au cas des mesures acoustiques en environnement est fournie dans le prFD S 31-115-1.

B.2 Liste des facteurs d'influence

Source d'incertitude	Effet sur le résultat	Mode d'action pour réduire l'incertitude
Variabilité de la source : — Composition des circulations — Vitesse des circulations ferroviaires — Qualité de roulement	Représentativité de l'échantillon de circulation	Augmenter la taille de l'échantillon Scinder les types de circulation
Météorologie	Conditions de propagation. Dépend de la distance du point de mesure / à la source	Production des indicateurs de bruit pour des conditions météo stables : intervalles de base (voir grille $U_i T_i$)
Instrumentation	Valeur des niveaux de bruit mesurés	Limiter les dérives, notamment lors de campagnes longues, par un contrôle régulier des instruments de mesure
Bruit résiduel	Surestimation de la contribution ferroviaire	S'assurer d'un écart de 10 dB entre le bruit ambiant et le bruit résiduel encadrant par un choix judicieux des points et des périodes de mesure. Traitement systématique des événements perturbateurs.
Opérateur	Impact faible sur les mesures et les traitements si respect des prescriptions du présent document	

Bibliographie

- [1] NF S 31-010, *Acoustique - Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement - Méthodes particulières de mesurage*
- [2] NF S 31-084, *Acoustique - Méthode de mesurage des niveaux d'exposition au bruit en milieu de travail*²⁾
- [3] prFD S 31-115-1, *Acoustique — Incertitudes de mesure en acoustique – Partie 1 : « Mesures »*¹⁾
- [4] prFD S 31-117, *Acoustique — Autocontrôle de l'appareillage de mesure acoustique*¹⁾
- [5] prGA S 31-126, *Acoustique — Application de l'ISO 5725 aux normes relatives au bruit dans l'environnement*¹⁾
- [6] NF S 31-133, *Acoustique — Bruit dans l'environnement — Calcul de niveaux sonores*
- [7] prNF S 31-185, *Acoustique — Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier — Détermination du niveau de pression acoustique représentatif au long terme*¹⁾
- [8] NF EN ISO 3095, *Applications ferroviaires — Acoustique — Mesurage du bruit émis par les véhicules circulant sur rails (indice de classement : F 01-520)*
- [9] NF ISO 5725-2, *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 (indice de classement : X 06-041-2)*
- [10] Méthode et données d'émission sonore pour la réalisation des études prévisionnelles du bruit des infrastructures de transport ferroviaire dans l'environnement, édition d'octobre 2012 (document produit par SNCF/RFF/DGITM et disponible sur le site www.bruit.fr)
- [11] Document LabGTA15 révision 00 de juin 2007 édité par le COFRAC
- [12] Document LAB REF 2 édité par le COFRAC

1) En préparation.

2) Annulée en mai 2009.