

# norme française

**NF S 31-085**

Novembre 2002

Indice de classement : S 31-085

ICS : 17.140.30 ; 43.020

Acoustique

## Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier

### Spécifications générales de mesurage

E : Acoustics — Characterization and measurement of road traffic noise —  
General measurement specifications

D : Akustik — Beschreibung und Messung von Strassenverkehrslärm —  
Allgemeine Messungsspezifikationen

### Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 octobre 2002 pour prendre effet le 5 novembre 2002.

Remplace la norme homologuée NF S 31-085, d'octobre 1991.

### Correspondance

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

### Analyse

Le présent document applique les spécifications générales de caractérisation de l'ensemble des bruits de l'environnement, décrites dans la norme NF S 31-110, au cas particulier du bruit émis par la circulation routière. Il décrit les conditions de saisie des données acoustiques, météorologiques et de trafic permettant d'apprécier le bruit auquel sont exposés les riverains d'une infrastructure routière. Il constitue une méthode de référence dans le cadre de la réglementation relative à la protection contre le bruit aux abords des infrastructures routières.

### Descripteurs

**Thésaurus International Technique** : protection de l'environnement, acoustique, bruit acoustique, bruit aérien, circulation, route, voie de circulation, agglomération urbaine, zone d'habitation, mesurage acoustique, pression sonore, essai *in situ*, environnement, conditions climatiques.

### Modifications

Par rapport à la norme NF S 31-085, d'octobre 1991, les modifications sont les suivantes : prise en compte des conditions météorologiques conformément à l'état de l'art, et présence de tests de validation des mesures plus approfondis.

### Corrections



## Sommaire

	Page
<b>Introduction</b> .....	4
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	4
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	6
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	6
<b>3.1</b> Acoustique .....	6
<b>3.2</b> Catégories de bruit .....	10
<b>3.3</b> Définitions liées aux données de trafic .....	10
<b>3.4</b> Définitions liées aux données météorologiques .....	11
<b>3.5</b> Notations et symboles .....	14
<b>4</b> <b>Principe du mesurage</b> .....	15
<b>5</b> <b>Méthode de mesurage acoustique</b> .....	16
<b>5.1</b> Appareillage de mesurage .....	16
<b>5.2</b> Conditions de mesurage .....	16
<b>5.3</b> Traçabilité .....	19
<b>5.4</b> Données complémentaires à recueillir .....	19
<b>6</b> <b>Validation des résultats</b> .....	20
<b>6.1</b> Test temporel : continuité du signal .....	20
<b>6.2</b> Test statistique : répartition «gaussienne» du bruit dû au trafic routier .....	22
<b>6.3</b> Cohérence entre $L_{Aeq}$ et trafic pour chaque intervalle de base .....	23
<b>6.4</b> Corrélation entre les niveaux sonores de deux points de mesure .....	24
<b>7</b> <b>Estimation d'un niveau sonore de long terme trafic</b> .....	26
<b>8</b> <b>Détermination des conditions météorologiques</b> .....	26
<b>8.1</b> Choix d'une méthodologie d'acquisition .....	27
<b>8.2</b> Recueil qualitatif des données caractérisant les conditions météorologiques de propagation sonore .....	28
<b>8.3</b> Recueil quantitatif des données caractérisant les conditions météorologiques de propagation sonore .....	32
<b>8.4</b> Analyse des résultats .....	34
<b>9</b> <b>Procès-verbal d'essai</b> .....	36
<b>9.1</b> Description générale .....	36
<b>9.2</b> Description de la configuration et des conditions du site lors du mesurage .....	36
<b>9.3</b> Appareillage utilisé (acoustique et météorologique) .....	37
<b>9.4</b> Description des résultats bruts de mesurage et de leur validation .....	38
<b>9.5</b> Description des hypothèses de recalage et d'analyse vis-à-vis d'un niveau sonore de long terme ..	38
<b>Annexe A</b> (informative) <b>Conseils pour l'appréciation qualitative des conditions météorologiques</b> .....	39
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Conseils pour l'appréciation quantitative des conditions météorologiques — Implantation d'un mât météorologique</b> .....	42
<b>Annexe C</b> (informative) <b>Exemple d'analyse des conditions de propagation sonore</b> .....	45
<b>Annexe D</b> (informative) <b>Dissociation des contributions de différentes sources</b> .....	46
<b>Bibliographie</b> .....	50

## Introduction

La présente norme décrit une méthode de mesurage in situ du bruit résultant d'un trafic routier sur une infrastructure existante en conformité avec les principes décrits dans la norme NF S 31-110.

Par analogie avec le mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire traité dans la norme NF S 31-088, elle définit les conditions de recueil des données :

- acoustiques ;
- caractéristiques du site ;
- de trafic ;
- météorologiques,

et propose une méthode d'analyse des données recueillies, permettant de déterminer le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A reçu en un point récepteur situé à proximité d'une infrastructure routière pendant un intervalle de référence considéré, ainsi qu'une méthode de validation statistique des résultats de mesure.

En fonction des informations recueillies, de la position du point de mesure et des conditions, notamment météorologiques, observées lors du mesurage, la présente norme permet :

- soit un mesurage de constat ;
- soit une approche des niveaux sonores de long terme trafic ;
- soit une interprétation du mesurage vis-à-vis de conditions météorologiques de long terme.

## 1 Domaine d'application

La présente norme s'applique au mesurage du bruit dû au trafic routier et a pour objectif de décrire une méthode pour la détermination du bruit d'origine routière imputable à une infrastructure routière donnée dans des conditions précises.

Elle décrit une méthode d'évaluation des niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A résultant du bruit produit par une infrastructure routière 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 la période du 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 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 en particulier 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.

Dans ce cas, la norme décrit deux méthodes d'évaluation des données météorologiques :

- l'une qualitative, qui permet de caractériser globalement les conditions météorologiques sur l'ensemble du site de mesurage, grâce à un recueil de données à large représentativité spatiale mais comportant une part d'interprétation de l'observateur ;
- l'autre quantitative, qui permet de caractériser localement les conditions météorologiques en un point du site de mesurage, grâce à un recueil de données enregistrées assurant la traçabilité de la mesure mais ayant une représentativité spatiale plus ponctuelle.

Les deux méthodes pourront donc être utilisées en complément l'une de l'autre.

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

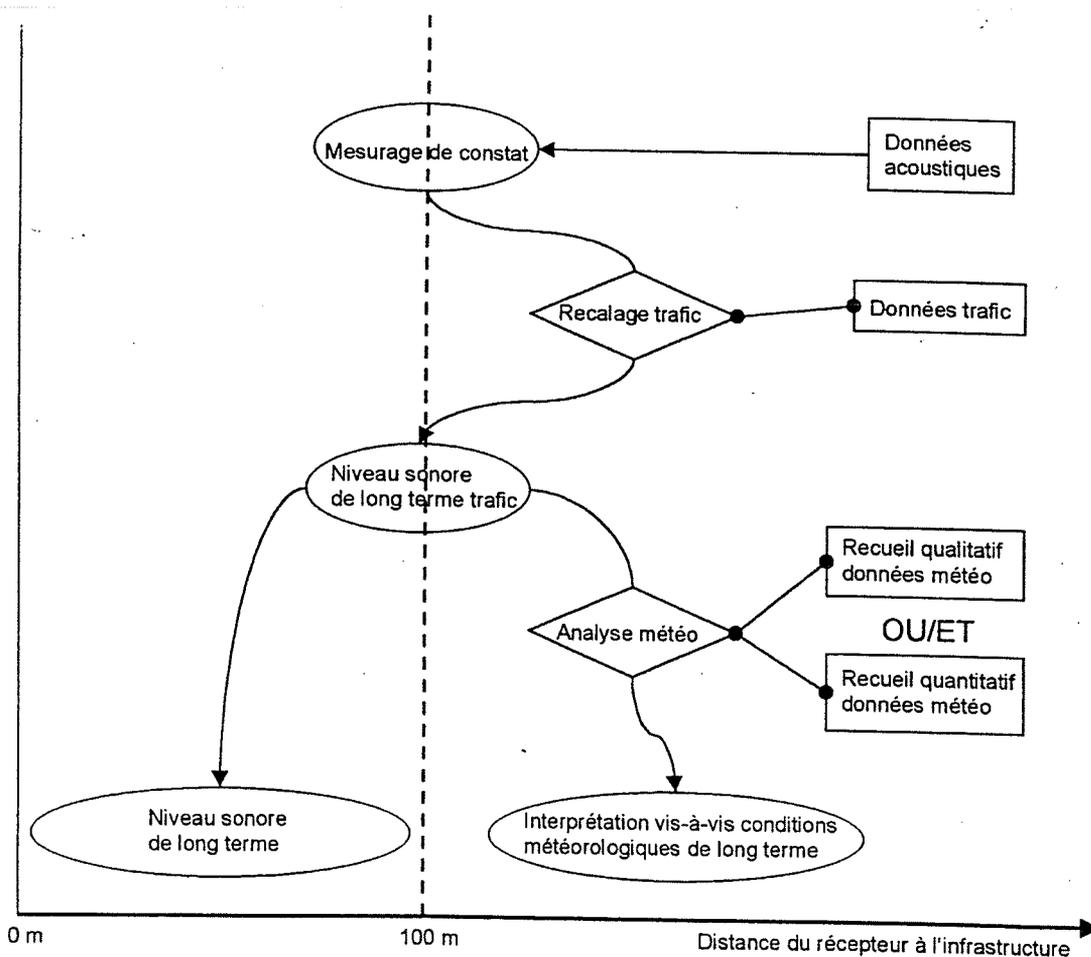


Figure 1

## 2 Références normatives

Le présent document comporte par référence datée ou non datée des dispositions d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à ce document que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique (y compris les amendements).

NF S 30-101, *Vocabulaire de l'acoustique — Définitions générales.*

NF S 30-102, *Vocabulaire de l'acoustique — Systèmes de transmission et de propagation du son et des vibrations.*

NF S 30-103, *Vocabulaire de l'acoustique — Appareillage acoustique.*

NF S 31-010, *Acoustique — Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement — Méthodes particulières de mesurage.*

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

NF S 31-130, *Acoustique — Cartographie du bruit en milieu extérieur.*

NF EN 60651, *Sonomètres* (indice de classement : S 31-009).

NF EN 60804, *Sonomètres intégrateurs moyennants* (indice de classement : S 31-109).

NF EN 60942, *Électroacoustique — Calibreurs acoustiques* (indice de classement : S 31-139).

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document les termes et définitions donnés dans les normes NF S 31-110 et NF S 31-130 ainsi que les termes et définitions suivants s'appliquent.

Par ailleurs, les normes NF S 30-101, NF S 30-102 et NF S 30-103 fournissent les définitions générales concernant les termes de l'acoustique.

### 3.1 Acoustique

#### 3.1.1 Niveau de pression acoustique

##### 3.1.1.1

**niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A,  $L_{Aeq,T}$**

valeur du niveau de pression acoustique pondéré A d'un son continu qui, maintenu constant sur un intervalle  $T$ , correspondrait sur cet intervalle à la même énergie acoustique que celle développée par la source sur ce même intervalle

Dans les conditions de fonctionnement des appareils de mesure actuels, le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A peut être exprimé de façon discrète :

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{(t_n - t_0)} \sum_{i=0}^{j=n-1} (t_{i+1} - t_i) \left[ \frac{\rho_A^2(t_i - t_{i+1})}{\rho_0^2} \right] \right]$$

où :

$L_{Aeq,T}$  est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, en dB(A), déterminé pour un intervalle de temps  $T$  qui commence à  $t_0$  et se termine à  $t_n$ ,

$\rho_A(t_i, t_{i+1})$  est la pression acoustique efficace pondérée A du signal calculée sur l'intervalle  $(t_i, t_{i+1})$ ,

$\rho_0 = 20 \mu\text{Pa}$  est la pression acoustique de référence.

NOTE 1 Lorsqu'on désire préciser les bornes de l'intervalle de mesurage,  $L_{Aeq,T}$  peut être écrit  $L_{Aeq}(t_0, t_n)$ . Par exemple  $L_{Aeq}(6\text{ h}, 22\text{ h})$  est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A entre 6 h 00 et 22 h 00.

Pour des raisons d'analyses statistiques, d'analyses du trafic ou de conditions météorologiques les mesures sont réalisées par courts intervalles de temps, constants pour une mesure donnée, dont les durées préférentielles sont 1 s ou 125 ms. Ces durées correspondent respectivement aux pondérations S (SLOW) ou pondération lente pour 1 s et F (FAST) ou pondération rapide pour 125 ms.

NOTE 2 La question de la constante de temps de l'échantillon de mesure élémentaire a une importance fondamentale lorsqu'il s'agit de traiter les données. Il est nécessaire d'avoir recours à une pondération temporelle permettant de détecter les émergences et de séparer les bruits d'origine routière de ceux qui ne le sont pas.

La durée d'intégration retenue dépend de la durée des phénomènes que l'on veut mettre en évidence et de l'utilisation prévue du signal mesuré.

Pour obtenir une meilleure description de l'évolution temporelle du signal, on privilégie la mesure du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A,  $L_{Aeq}$ , sur une période de 125 ms.

Lors d'une mesure de longue durée et pour des raisons de stockage du signal mesuré on privilégie une mesure sur des durées de 1 s.

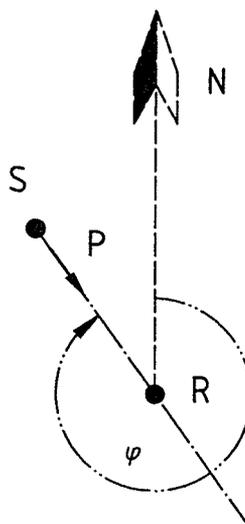
### 3.1.1.2

#### direction de propagation du son

définie pour une source sonore ponctuelle donnée vis-à-vis d'un récepteur donné

Elle est caractérisée par l'angle  $\varphi$  formé par la direction d'où vient le son (droite orientée dans le sens récepteur-source), par rapport à la direction du nord géographique.  $\varphi$  est exprimé en degrés comptés dans le sens horaire.

NOTE Ce principe de repérage est identique à celui employé par les météorologues pour la direction du vent.



#### Légende

- N Nord
- S Source
- R Récepteur
- $\varphi$  Direction de propagation du son
- P Sens de propagation du son

Figure 2 — Direction de propagation du son

### 3.1.1.3

#### gradient vertical de vitesse du son

variation de vitesse horizontale du son ramenée à la distance verticale entre deux points rapprochés de l'espace

Le gradient vertical de vitesse du son varie avec la hauteur du couple de points considérés. Il s'exprime en  $s^{-1}$  et est noté pour la présente norme  $G_{son}$ .

### 3.1.2 Intervalles

#### 3.1.2.1

##### intervalle élémentaire

Intervalle de temps sur lequel sont mesurés les  $L_{Aeq}$  courts

En vue de l'application des tests de validation des résultats acoustiques vis-à-vis notamment des données de trafic, leur durée pour les acquisitions acoustiques est en général égale à 1 s ou 125 ms (voir Figure 3).

#### 3.1.2.2

##### intervalle de base

intervalle de temps pour lequel les mesures acoustiques sont statistiquement représentatives

Il correspond à un intervalle de temps statistiquement représentatif de la puissance acoustique moyenne des véhicules et sur lequel les conditions météorologiques sont jugées stationnaires (voir Figure 3).

Lorsque cet intervalle ou des multiples de cet intervalle sont utilisés pour l'analyse et les tests de validité des mesures, ils doivent satisfaire aux conditions suivantes :

- conditions sur le trafic : on doit enregistrer un minimum de 200 passages de véhicules pour un trafic relativement fluide (absence de forte discontinuité du trafic). Pour un trafic pulsé ou avec un taux de poids lourds élevé, le minimum de passages nécessaire pour permettre des extrapolations des niveaux sonores mesurés à d'autres conditions de trafic est de 500 véhicules ; on considère que le taux de poids lourds est élevé lorsqu'il atteint ou dépasse les valeurs du Tableau 1.

Tableau 1

Vitesse moyenne du flot de véhicules (km/h)	Limite taux de PL élevé (%)
120	17
100	16
80	10
50	7

- conditions de stationnarité météorologique : on admet qu'elles sont satisfaites lorsque l'intervalle de temps est compris entre 10 min et 1 h.

Lorsque la prise en compte des conditions météorologiques n'est pas nécessaire (distance inférieure à une centaine de mètres), l'intervalle de base n'est défini que par les conditions liées au trafic.

Lorsque la prise en compte des conditions météorologiques est nécessaire (distance supérieure à une centaine de mètres) et que les conditions relatives au trafic ne peuvent pas être satisfaites simultanément (en particulier pour les faibles trafics en période nocturne), on admet que les intervalles de base ne sont pas représentatifs et les tests de validation ne peuvent pas être appliqués.

NOTE Pour améliorer la finesse de l'analyse, il est souhaitable de retenir l'intervalle de base le plus court possible, sous les conditions définies ci-dessus.

#### 3.1.2.3

##### 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 ou par des textes réglementaires, 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 disjoints (voir Figure 3).

NOTE Dans le cas d'une infrastructure routière, les intervalles de référence utilisés par la réglementation à la date d'édition du présent document sont 6 h-22 h et 22 h-6 h.

### 3.1.2.4 intervalle de mesurage

intervalle de temps au cours duquel la pression acoustique quadratique pondérée  $A$  est échantillonnée en intervalles élémentaires (voir Figure 3)

NOTE 1 Les mesurages effectués sur un intervalle de référence sont appelés en pratique «points de longue durée» ou «points fixes».

NOTE 2 Les mesurages effectués sur un intervalle de base sont appelés en pratique «points de courte durée» ou «prélèvements».

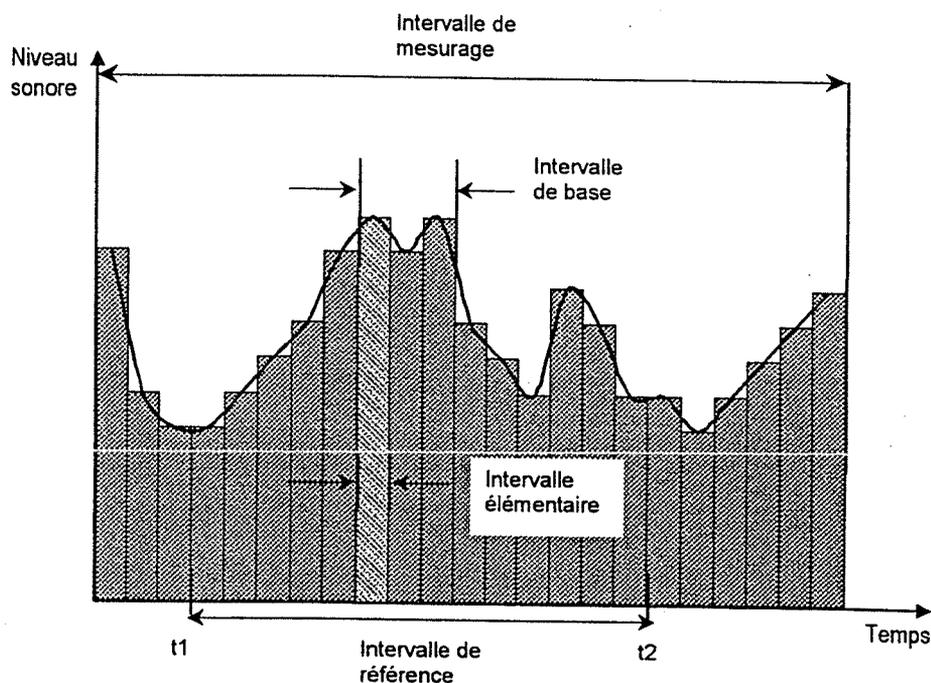


Figure 3 — Schéma explicatif des intervalles élémentaires, de base, de référence et de mesurage

### 3.1.3 Niveaux sonores

NOTE Pour toutes les définitions de ce paragraphe, en toute rigueur, les niveaux sonores de pression acoustique continus équivalents pondérés  $A$  considérés devraient être indicés par l'intervalle  $T$  sur lequel ils sont évalués. Pour plus de lisibilité, cet indice est omis pour ces grandeurs dans l'ensemble du présent document.

#### 3.1.3.1

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

niveau sonore équivalent pondéré  $A$  reflétant la situation acoustique pendant le mesurage

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

#### 3.1.3.2

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

niveau sonore équivalent pondéré  $A$  reflétant la situation moyenne représentative — dite de long terme  $LT$  — du site vis-à-vis des conditions de trafic

Il correspond à des conditions moyennes de circulation représentatives d'une situation de long terme et aux conditions météorologiques existantes pendant la mesure.

NOTE Dans la pratique, le long terme trafic est évalué à partir d'un recalage d'un niveau sonore mesuré sur les données de trafic moyen observées et de vitesses moyennes observées ou estimées sur une période d'au moins un an.

### 3.1.3.3

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

niveau sonore équivalent pondéré  $A$  reflétant la situation moyenne représentative — dite de long terme  $LT$  — du site

Il correspond à des conditions moyennes de circulation et des conditions météorologiques moyennes représentatives d'une situation de long terme.

NOTE 1 Dans la pratique, le long terme est évalué à partir des données observées sur une période d'au moins un an.

NOTE 2 Dans la présente norme, pour des distances inférieures à 100 m, 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  $L_{Aeq,LT,t}$ .

## 3.2 Catégories de bruit

### 3.2.1

#### bruit ambiant

bruit total existant dans une situation donnée pendant un intervalle de temps donné

Il est composé des bruits émis par toutes les sources proches ou éloignées d'origine quelconque pendant cet intervalle.

### 3.2.2

#### bruit particulier

composante du bruit ambiant qui peut être identifiée spécifiquement par des analyses acoustiques (spatiale, temporelle, études de corrélation...) et qui peut être attribuée à une source d'origine particulière

NOTE Pour ce document, il correspond essentiellement au bruit de l'infrastructure routière, objet du mesurage.

### 3.2.3

#### bruit résiduel

composante résiduelle du bruit ambiant, dans une situation spatio-temporelle donnée, quand un ou plusieurs bruits particuliers sont supprimés

## 3.3 Définitions liées aux données de trafic

NOTE Pour toutes les définitions de ce paragraphe, en toute rigueur, les vitesses moyennes et les débits considérés devraient être indicés par l'intervalle  $T$  sur lequel ils sont évalués. Pour plus de lisibilité, cet indice est omis pour ces grandeurs, dans l'ensemble du présent document.

### 3.3.1

#### vitesse moyenne du flot $V_m$ pour un intervalle donné

rapport entre le débit de l'infrastructure routière en véhicules/heure et la concentration de véhicules en véhicules/km, sur l'intervalle considéré

Dans le cadre de la présente norme, on pourra utiliser  $V_{50}$ , vitesse atteinte ou dépassée par 50 % des véhicules, à la place de  $V_m$ .

NOTE Dans le cadre de la réglementation en vigueur, on distingue une vitesse moyenne du flot de jour  $V_{m,jour}$  définie sur un intervalle de référence jour et une vitesse moyenne du flot de nuit  $V_{m,nuit}$  définie sur un intervalle de référence nuit.

### 3.3.2

#### débit acoustiquement équivalent $Q_{eq}$

les données de trafic relatives aux deux types de véhicules —  $VL$  et  $PL$  — peuvent être traitées ensemble en affectant le débit  $PL$  d'un facteur d'équivalence acoustique  $E$

Le débit acoustiquement équivalent  $Q_{eq}$ , sur un intervalle donné, est défini par la formule (1) :

$$Q_{eq} = Q_{VL} + E \times Q_{PL} \quad \dots (1)$$

où :

$Q_{eq}$  est le débit acoustiquement équivalent sur un intervalle donné,

$Q_{VL}$  est le débit  $VL$  sur le même intervalle,

$Q_{PL}$  est le débit  $PL$  sur le même intervalle,

$E$  est le facteur d'équivalence acoustique donné dans le Tableau 2.

Tableau 2

Rampe de la voie (%) \ $V_m$ (km/h)	$\leq 2$	3	4	5	$\geq 6$
	120	4	5	5	6
100	5	5	6	6	7
80	7	9	10	11	12
50	10	13	16	18	20

NOTE Dans le cadre de la réglementation en vigueur, on distingue un débit acoustiquement équivalent de jour  $Q_{eq,LT,jour}$ , défini sur un intervalle de référence jour et un débit acoustiquement équivalent de nuit  $Q_{eq,LT,nuit}$ , défini sur un intervalle de référence nuit.

### 3.3.3

#### vitesse de Long Terme $V_{m,LT}$

vitesse moyenne du flot admise comme représentative de la situation moyenne — dite de long terme — sur un intervalle donné

Elle est fonction de l'infrastructure routière et de l'intervalle considérés. Elle permet le calage de la mesure et est représentative de l'émission acoustique du flot de véhicules, sur cet intervalle.

NOTE Dans le cadre de la réglementation en vigueur, on distingue une vitesse de long terme de jour  $V_{m,LT,jour}$ , définie sur un intervalle de référence jour et une vitesse de long terme de nuit  $V_{m,LT,nuit}$ , définie sur un intervalle de référence nuit.

### 3.3.4

#### débit acoustiquement équivalent de Long Terme $Q_{eq,LT}$

débit acoustiquement équivalent, admis comme représentatif de la situation moyenne — dite de long terme — sur un intervalle donné

NOTE Dans le cadre de la réglementation en vigueur, on distingue un débit acoustiquement équivalent de long terme de jour  $Q_{eq,LT,jour}$ , défini sur un intervalle de référence jour et un débit acoustiquement équivalent de long terme de nuit,  $Q_{eq,LT,nuit}$ , défini sur un intervalle de référence nuit.

## 3.4 Définitions liées aux données météorologiques

### 3.4.1

#### gradient vertical de température

variation de température de l'air ramenée à la distance verticale entre deux points rapprochés de l'espace

Le gradient vertical de température varie avec la hauteur du couple de points considérés. Il s'exprime en  $^{\circ}\text{C m}^{-1}$ .

### 3.4.2

#### gradient vertical de vitesse du vent

variation de vitesse horizontale du vent ramenée à la distance verticale entre deux points rapprochés de l'espace

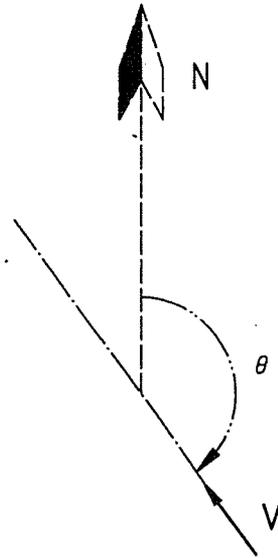
Le gradient vertical de vitesse du vent varie avec la hauteur du couple de points considérés. Il s'exprime en  $\text{s}^{-1}$ .

### 3.4.3

#### direction du vent

caractérisée par l'angle moyen  $\theta$  formé, pendant un intervalle de base donné, par la direction d'où vient le vent par rapport à la direction du nord géographique

$\theta$  est exprimé en degrés comptés dans le sens horaire (voir Figure 4).



#### Légende

- N Nord
- $\theta$  Direction du vent
- V Vitesse du vent

Figure 4 — Direction du vent

### 3.4.4

#### direction de propagation du son en vue d'une analyse météorologique aux abords d'une infrastructure routière

l'effet du vent sur la propagation du son étant variable selon la direction de propagation du son considérée, la présente norme doit repérer cette direction dans un référentiel

Dans le présent document, les sources sonores considérées sont des sources routières, représentées par des lignes sources. Pour des besoins inhérents à l'analyse des données météorologiques, pour chaque point récepteur considéré, on découpe en secteurs angulaires la voie routière vue depuis le récepteur.

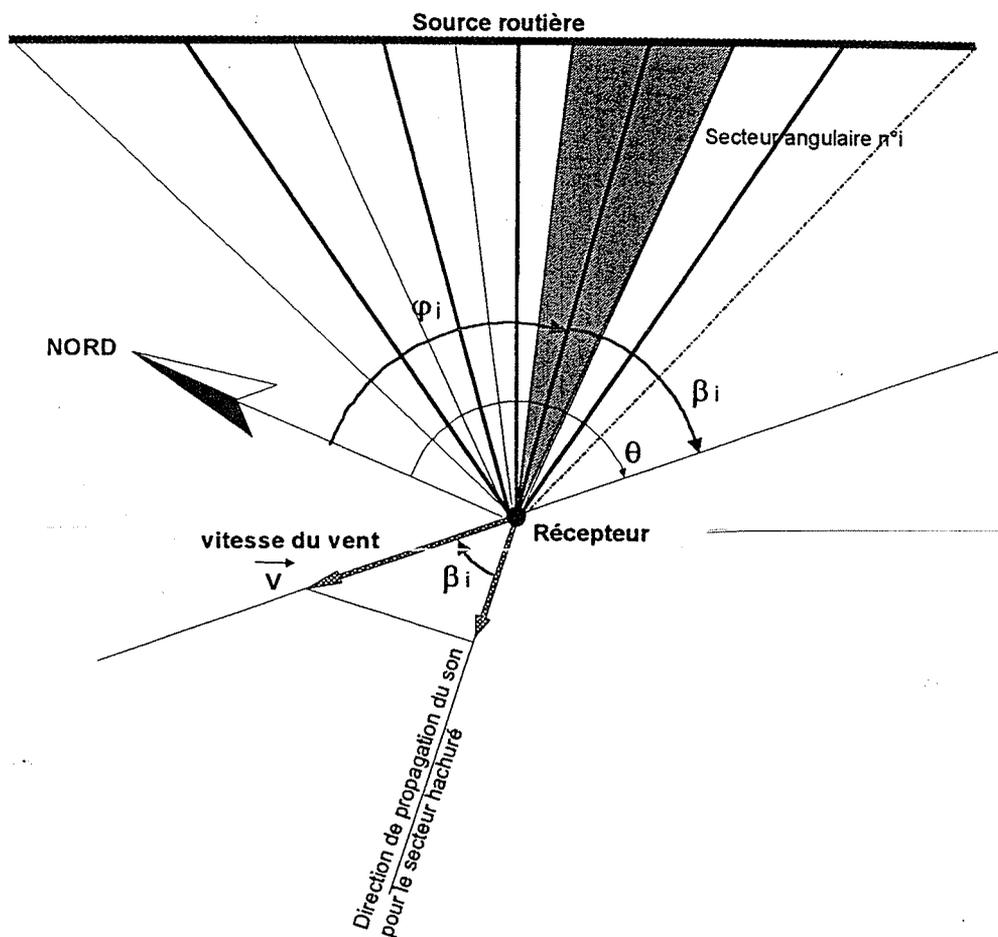
Le découpage en secteurs angulaires est réalisé par découpage équiangulaire : les angles définis depuis le récepteur ont tous la même valeur. La caractérisation météorologique du site est d'autant meilleure que le découpage est plus fin. Cependant, compte tenu de la précision de localisation de la direction du vent donnée par les stations fixes et de la fluctuation de la direction du vent autour d'une valeur moyenne, un découpage trop fin n'est pas compatible avec la précision des données recueillies. Un découpage par angles de 20° est généralement recommandé. Pour une approche qualitative il est possible d'admettre un découpage par angles de 40° ou 45° en fonction des données recueillies.

À chacun de ces secteurs angulaires, repéré par un numéro  $i$ , correspond une direction de propagation du son, notée  $\varphi_i$ . Elle correspond à l'angle formé par la médiane du secteur angulaire, orientée depuis la source vers le récepteur, et la direction du nord géographique. Elle est exprimée en degrés comptés dans le sens horaire (voir Figure 5).

**3.4.5**

**direction du vent par rapport à une direction de propagation du son**

pour une direction de vent  $\theta$  donnée, pour chacun des secteurs angulaires précédemment déterminés, repéré par un numéro  $i$  et auquel correspond une direction de propagation du son  $\varphi_i$ , angle moyen  $\beta_i$  défini sur un intervalle de base donné, comme l'écart entre les angles  $\theta$  et  $\varphi_i$ , exprimé en degrés comptés dans le sens horaire (voir Figure 5)



**Figure 5 — Direction du vent par rapport à une direction de propagation du son**

Pour plus de lisibilité, dans la suite du présent document, l'indice  $i$  de référence au secteur angulaire considéré est omis.

Les termes génériques suivants sont adoptés. Pour un point récepteur donné et pour une direction du vent donnée, on note que :

$\varphi$  est la direction de propagation du son d'un secteur angulaire donné par rapport au nord ;

$\beta$  est la direction du vent par rapport à la direction de propagation du son d'un secteur angulaire donné.

Pour les articles où ces notations sont utilisées (recueil et analyse des données météorologiques), la référence aux angles  $\varphi$  et  $\beta$  signifie que les préconisations doivent être appliquées pour chacun des secteurs angulaires définis en 3.4.4.

**3.4.6****conditions atmosphériques de propagation du son**

on définit trois classes de conditions atmosphériques en fonction des modifications qu'elles engendrent sur la propagation du son

On distingue :

- les conditions homogènes pour la propagation sonore, correspondant à l'ensemble des conditions météorologiques conduisant à une atmosphère homogène du point de vue de la propagation du son. Dans ces conditions, les rayons sonores sont rectilignes ;
- les conditions favorables pour la propagation sonore, correspondant à l'ensemble des conditions météorologiques produisant une courbure des rayons sonores vers le sol et conduisant à des niveaux sonores au récepteur supérieurs à ceux observés en conditions homogènes ;
- les conditions défavorables pour la propagation sonore, correspondant à l'ensemble des conditions météorologiques produisant une courbure des rayons sonores vers le ciel et conduisant à des niveaux sonores au récepteur inférieurs à ceux observés en conditions homogènes.

**3.4.7****rayonnement**

quantifie l'énergie solaire moyenne arrivant sur le sol, par unité de temps et par unité de surface

Le rayonnement dépend de la hauteur du soleil et de la couverture nuageuse. Il est variable suivant le lieu, la saison et l'heure de la journée. Il s'exprime en  $W/m^2$ .

**3.4.8****couverture nuageuse**

proportion de surface nuageuse, par rapport à la totalité de ciel observable au-dessus de la direction de propagation du son considérée

Elle s'exprime en octas : 0/8 correspond à un ciel parfaitement dégagé ; 8/8 correspond à un ciel totalement couvert.

**3.5 Notations et symboles**

$Q_{eq}$	Débit acoustiquement équivalent sur un intervalle donné
$Q_{eq,LT}$	Débit acoustiquement équivalent de long terme sur un intervalle donné
$Q_{eq,mes}$	Débit acoustiquement équivalent mesuré sur un intervalle donné
$VL$	Véhicules légers, véhicules de poids total autorisé inférieur à 3,5 tonnes
$PL$	Poids lourds, véhicules de poids total autorisé supérieur à 3,5 tonnes
$Q_{PL}$	Débit PL sur un intervalle donné
$Q_{VL}$	Débit VL sur un intervalle donné
$T$	Température locale de l'air
$V_m$	Vitesse moyenne du flot de véhicules
$V_{m,LT}$	Vitesse moyenne de long terme du flot de véhicules
$V_{m,mes}$	Vitesse moyenne mesurée du flot de véhicules
$L_{Aeq,constat}$	Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A de constat
$L_{Aeq,LT}$	Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A de long terme
$L_{Aeq,LT,t}$	Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A de long terme trafic
$L_{Aeq,base}$	Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A mesuré sur un intervalle de base considéré
$L_{Aeq,réf}$	Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A mesuré sur un intervalle de référence considéré
$n_{base}$	Nombre d'intervalles de base validés
$n_{\varphi,f}$	Nombre d'intervalles de base pour lesquels les conditions météorologiques sont favorables pour la propagation sonore dans la direction de propagation du son $\varphi$

$n_{\varphi,h}$	Nombre d'intervalles de base pour lesquels les conditions météorologiques sont homogènes pour la propagation sonore dans la direction de propagation du son $\varphi$
$n_{\varphi,d}$	Nombre d'intervalles de base pour lesquels les conditions météorologiques sont défavorables pour la propagation sonore dans la direction de propagation du son $\varphi$
$p_{\varphi,f,LT}$	Taux d'occurrences de long terme de conditions favorables pour la propagation sonore dans la direction de propagation du son $\varphi$
$p_{\varphi,h,LT}$	Taux d'occurrences de long terme de conditions homogènes pour la propagation sonore dans la direction de propagation du son $\varphi$
$p_{\varphi,d,LT}$	Taux d'occurrences de long terme de conditions défavorables pour la propagation sonore dans la direction de propagation du son $\varphi$
$p_{\varphi,f,mes}$	Taux d'occurrences mesuré de conditions favorables pour la propagation sonore dans la direction de propagation du son $\varphi$
$p_{\varphi,h,mes}$	Taux d'occurrences mesuré de conditions homogènes pour la propagation sonore dans la direction de propagation du son $\varphi$
$p_{\varphi,d,mes}$	Taux d'occurrences mesuré de conditions défavorables pour la propagation sonore dans la direction de propagation du son $\varphi$
$\beta$	Direction du vent par rapport à une direction de propagation du son
$\varphi$	Direction de propagation du son
$\theta$	Direction du vent
$E$	Facteur d'équivalence acoustique
$G_{son}$	Gradient local vertical de vitesse du son dans une direction de propagation du son donnée
$G_T$	Gradient local vertical de température
$G_W$	Gradient local vertical de vitesse du vent
$L_n$	Niveau sonore atteint ou dépassé pendant $n$ % du temps



#### 4 Principe du mesurage

La présente norme permet la détermination du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A dû au trafic routier en un point récepteur à partir :

- d'un mesurage acoustique pendant l'intervalle de mesurage, aux emplacements de mesurage ;
- de l'identification des principaux facteurs influençant les résultats de mesure sur cet intervalle de mesurage ;
- de l'estimation de l'état moyen représentatif des données de long terme de ces principaux facteurs pendant l'intervalle de mesurage.

À cet effet, la présente norme donne les spécifications pour les mesurages et évaluations des éléments suivants :

- niveau de pression acoustique équivalent pondéré A ;
- validation des résultats, qui permet d'obtenir un niveau sonore de constat ;
- caractéristiques du trafic, qui permet d'obtenir l'estimation d'un niveau sonore de long terme trafic ;
- conditions météorologiques, qui permettent d'interpréter le niveau sonore mesuré vis-à-vis de conditions météorologiques de long terme.

Un mesurage de constat doit respecter les spécifications des articles 5, 6 et 9 de la présente norme.

Le mesurage et l'estimation d'un niveau sonore de long terme trafic doivent respecter les spécifications des articles 5, 6, 7 et 9 de la présente norme.

Lorsque le récepteur est situé à moins de 100 m de l'infrastructure routière, on admet que le niveau sonore de long terme trafic est représentatif du niveau sonore de long terme.

Lorsque le récepteur est situé à plus de 100 m de l'infrastructure routière, le mesurage et l'interprétation du niveau sonore mesuré vis-à-vis de conditions météorologiques de long terme doivent respecter les spécifications des articles 5, 6, 7, 8 et 9 de la présente norme.

## 5 Méthode de mesurage acoustique

### 5.1 Appareillage de mesurage

L'appareillage de mesure doit être d'un modèle approuvé, de type intégrateur et conforme à la classe 1 des normes NF EN 60651 et NF EN 60804 ou une chaîne de mesure aux performances équivalentes, permettant la détermination directe du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A pour le bruit routier.

#### 5.1.1 Étalonnage

L'appareillage de mesurage doit être étalonné et le montage de contrôle doit être conforme aux instructions du constructeur.

Le sonomètre et le calibre associé doivent être vérifiés périodiquement par des organismes qualifiés. À titre indicatif, la périodicité recommandée de cette opération est de deux ans.

Le sonomètre ou la chaîne de mesure doit être auto-vérifié(e) au moins tous les six mois ou après chaque modification suivant une méthode faisant l'objet d'une procédure d'assurance qualité. Le descriptif de cette méthode doit être disponible et pouvoir être joint au rapport de mesurage. Les spécifications détaillées de cette auto-vérification ainsi qu'un modèle de fiche sont donnés en Annexe A de la norme NF S 31-010.

#### 5.1.2 Traçabilité

Le gestionnaire de l'appareillage doit tenir une fiche de vie pour chaque élément de cet appareillage sur laquelle sont reportées les indications relatives à son identification, aux opérations d'étalonnage et aux éventuelles réparations ou modifications. La dernière fiche de vérification ou d'autovérification doit pouvoir être produite.

#### 5.1.3 Calibrage

L'opérateur doit procéder au moins avant et après chaque série de mesurage, à un calibrage de l'appareillage incluant un contrôle acoustique ou électro-acoustique du microphone à l'aide d'un calibre conforme à la norme NF EN 60942. Ces deux calibrages doivent être enregistrés sur le même support que le signal de mesure (dans le cas général dans le même fichier informatique).

Si les valeurs lues lors de ces calibrages s'écartent les unes des autres de plus de 0,5 dB, les mesurages doivent être recommencés.

### 5.2 Conditions de mesurage

#### 5.2.1 Précautions opératoires

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

Lors de l'utilisation d'un enregistreur, outre les contraintes de dynamique et de bruit de fond, il est nécessaire de s'assurer de la compatibilité des supports utilisés avec les réglages de l'appareil.

Toutes les précautions nécessaires doivent être prises pour que l'appareillage ne soit pas affecté par les intempéries. L'utilisation de la chaîne de mesure, en particulier du microphone, suppose de respecter certaines conditions liées à la température ambiante et à l'hygrométrie. De plus en cas de mesurage en milieu extérieur l'utilisation systématique d'une boule anti-vent est requise. Elle peut être remplacée le cas échéant par une boule anti-pluie lorsque les conditions le requièrent.

En cas de conditions exceptionnelles influençant les caractéristiques du site ou du trafic, dues à des travaux, des accidents, à des particularismes saisonniers ou à des perturbations météorologiques (pluies, neige, gel, brouillard), les mesurages ne permettent pas d'estimer un niveau sonore de long terme trafic, ni d'interpréter vis-à-vis des conditions météorologiques de long terme. On ne peut effectuer que des mesurages de constat.

En particulier, les intervalles perturbés seront identifiés en vue d'un traitement ultérieur, dans les cas suivants :

- pluie susceptible de provoquer une perturbation de la mesure ;
- intervalle de base sur lequel la vitesse moyenne des véhicules est inférieure à 20 km/h ;
- présence de sources parasites ;
- vitesse de vent excessive à proximité du microphone. À titre indicatif le tableau ci-dessous donne des valeurs de vitesse maximale du vent admise à proximité du microphone en fonction de la valeur des niveaux de bruit mesurés.

**Tableau 3**

Niveaux sonores mesurés $L_{Aeq,T}$ (dB(A))	Vitesse du vent maximale admissible (m/s)
< 60	3
60 à 70	5
> 70	7
Les valeurs de ce tableau sont valables pour l'utilisation d'un microphone avec une boule anti-vent.	

### 5.2.2 Niveau de bruit résiduel

Dans la mesure du possible, le niveau de pression acoustique pondéré  $A$  du bruit résiduel doit être inférieur d'au moins 10 dB(A) au niveau de pression acoustique pondéré  $A$  maximal du bruit particulier correspondant au passage d'un véhicule léger sur l'infrastructure considérée.

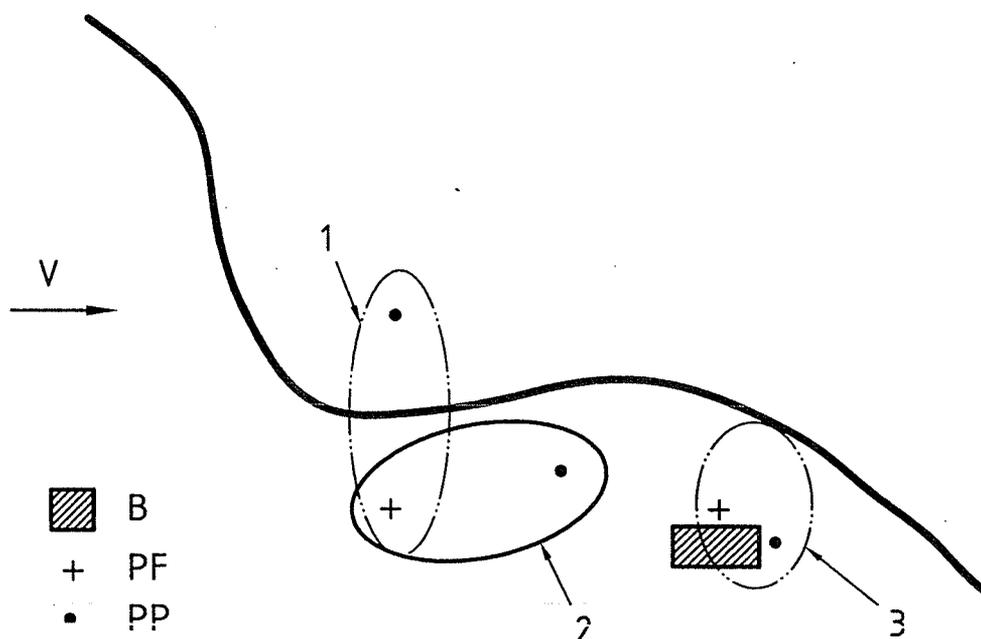
NOTE Pour l'évaluation du bruit résiduel, on utilise de préférence un échantillonnage de 125 ms pour le  $L_{Aeq}$ .

### 5.2.3 Prélèvements (mesurages de courte durée)

Les points de mesure de courte durée (ou prélèvements) ne peuvent être réalisés que dans les conditions cumulatives suivantes :

- a) pour tout point de mesure de courte durée réalisé pendant une partie d'un intervalle de référence, on doit effectuer simultanément au moins un point fixe 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 fixe ;
- b) le point de courte durée et le point fixe 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 de mesure de courte durée et au point fixe correspondant ;
- c) le point de courte durée et le point fixe correspondant sont situés dans des zones homogènes vis-à-vis de la propagation sonore, c'est-à-dire :
  - soit le point de courte durée et le point fixe correspondant sont situés tous les deux à une distance par rapport à l'infrastructure inférieure à 50 m (cas c.1),
  - soit les quatre conditions suivantes sont respectées simultanément (cas c.2) :
    - distance «prélèvement — point fixe» inférieure à 100 m si l'un de ces points est situé à plus de 100 m de l'infrastructure,
    - équivalence des rapports  $\frac{\text{Hauteur par rapport au sol}}{\text{Distance par rapport à la source}}$  du point de courte durée et du (des) point(s) fixe(s) correspondant(s).
    - équivalence des milieux de propagation en termes de topographie, présence d'obstacles et nature du sol, entre la source et le point de courte durée et entre la source et le(s) point(s) fixe(s) correspondant(s),
    - équivalence de la position relative de l'infrastructure vue du point de courte durée et vue du point fixe par rapport à la direction du vent (voir Figure 6).

Dans le cas c.2, c'est-à-dire lorsqu'au moins l'un des deux points est situé à plus de 50 m de l'infrastructure, si les deux premières conditions ne sont pas satisfaites, l'extrapolation du prélèvement par rapport au mesurage du point fixe 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

PF Point fixe

PP Prélèvement

- 1 Position infrastructure-prélèvement par rapport au vent différente de position infrastructure-point fixe : prélèvement non valide
- 2 Position infrastructure-prélèvement par rapport au vent identique à position infrastructure-point fixe : prélèvement valide
- 3 Position infrastructure-prélèvement par rapport au vent différente de position infrastructure-point fixe : prélèvement non valide

**Figure 6 — Équivalence des positions relatives de l'infrastructure par rapport aux points de mesure**



## 5.2.4 Emplacements de mesurage

### 5.2.4.1 Mesurages en zone bâtie

Conformément aux spécifications de la norme NF S 31-110, les emplacements de mesurage à proximité de bâtiments 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. Les fenêtres entrebâillées sont tolérées à condition que l'intervalle d'ouverture n'excède pas 10 cm.

Dans le cas d'immeubles longs ou de grande hauteur, il peut être utile, en fonction de leur orientation par rapport à l'infrastructure considérée, d'effectuer des mesurages en plusieurs emplacements le long de la façade.

Lorsqu'une partie de la façade d'un immeuble n'est pas en vue directe de l'infrastructure considérée, le mesurage du bruit émis par la circulation doit être effectué sur la partie de la façade située en vue directe tandis que, simultanément, il peut être utile d'effectuer un mesurage sur la partie de la façade qui n'est pas en vue directe.

Lorsque le mesurage a pour objet d'instruire une plainte, le mesurage doit être effectué au centre de la portion de façade de l'appartement du plaignant.

### 5.2.4.2 Mesurages en zone dégagée

Au sens de la norme NF S 31-110, une zone dégagée est une zone non construite dans un rayon d'au moins 50 m autour du point de mesurage.

En zone dégagée, les mesurages seront effectués dans la mesure du possible à une hauteur supérieure à 2 m du sol.

## 5.3 Traçabilité

On doit conserver au moins deux ans :

- la description complète de l'appareillage de mesure acoustique (pour chacun des éléments de la chaîne) : type, classe, nom du (ou des) constructeur(s), numéro de série ;
- l'indication des réglages utilisés ;
- la mémorisation des données brutes de mesurage (évolution temporelle sur la période de mesurage).

## 5.4 Données complémentaires à recueillir

Pendant l'intervalle de mesurage, il est nécessaire de procéder à une évaluation du trafic routier (volume total, proportion de *PL*) et de la vitesse circulée (vitesse du flot).

Pour les débits en véhicules, les données recueillies doivent être au minimum :

- la répartition horaire du trafic sur les intervalles de référence, en distinguant *VL* et *PL*

Pour les vitesses, on mesure ou on estime sur les intervalles de référence la vitesse moyenne du flot de véhicules.

NOTE Dans le cadre de la réglementation en vigueur à la date de parution de la présente norme, pour les intervalles de référence 6 h-22 h et 22 h-6 h, on détermine en général les données suivantes : débit horaire «Tous Véhicules» de jour, débit horaire «Tous Véhicules» de nuit, %*PL* de jour, %*PL* de nuit,  $V_{m,jour}$ ,  $V_{m,nuit}$ .

Pour chaque mesurage acoustique, on précise les procédures de comptage ou d'extrapolation des débits et de recueil ou d'estimation des vitesses adoptées.

## 6 Validation des résultats

La validation des résultats des mesurages issus des spécifications de l'article 5 fait l'objet de tests qui ont quatre objectifs :

- vérifier que le bruit mesuré est imputable au trafic routier ;
- vérifier que le bruit mesuré est imputable à l'infrastructure considérée ;
- détecter les intervalles de base présentant des singularités par rapport aux autres, soit du fait d'anomalies dans l'écoulement du trafic (congestion de l'infrastructure, passages de véhicules de secours ou accident qui rendent les résultats non extrapolables à une situation de long terme), soit du fait de modifications des conditions de propagation liées à des variations climatiques ;
- éliminer autant que possible les intervalles élémentaires perturbés par des bruits parasites.

Les tests de validation des résultats correspondants se répartissent en trois familles :

- ceux qui portent sur la variation des valeurs sur les intervalles élémentaires à l'intérieur d'un intervalle de base : test temporel (continuité du signal) et test statistique (répartition «gaussienne») ;
- ceux qui portent sur la variation des valeurs sur les intervalles de base au cours d'un intervalle de mesure : corrélation bruit/trafic ;
- ceux qui portent sur la variation au cours d'un intervalle de mesure des valeurs sur des intervalles de comparaison dont la durée minimale est d'une minute et la durée maximale est de 1/10 de la durée des intervalles de base : corrélation bruit entre points simultanés.

Parmi l'ensemble des tests suivants on distingue :

- une procédure d'aide à l'opérateur pour l'interprétation et la validation des résultats ; il s'agit du test 6.1. Ce test est conseillé mais ne dispense pas d'une analyse experte des résultats du mesurage ;
- des tests de validation des résultats du mesurage ; il s'agit des tests 6.2, 6.3 et 6.4. Ces tests doivent être appliqués aux résultats du mesurage pour aboutir à un mesurage de constat.

Le fait qu'une séquence de mesure ne réponde pas à un ou plusieurs tests ne signifie pas nécessairement que la mesure est invalide mais doit être signalé par le mesureur, qui doit tenter d'apporter une explication basée sur une enquête plus approfondie.

Ces tests peuvent être complétés le cas échéant par une procédure de dissociation des contributions de différentes sources, pour laquelle un mode opératoire est proposé en annexe D.

### 6.1 Test temporel : continuité du signal

#### 6.1.1 Principe du test

Les niveaux sonores des intervalles élémentaires doivent respecter une certaine continuité dans leur évolution temporelle pour être représentatifs d'un bruit de trafic routier.

Le test proposé a pour objectif d'aider l'opérateur à contrôler cette continuité, en évaluant celle-ci à partir de critères numériques. Il ne permet pas de détecter toutes les discontinuités, mais peut être utilisé en complément d'un traitement du signal manuel par l'opérateur.

La continuité du signal peut être qualifiée par la valeur absolue de l'écart entre deux niveaux sonores relatifs à des intervalles élémentaires successifs. Cet écart ne peut pas dépasser certaines valeurs qui dépendent essentiellement de la durée des intervalles élémentaires, de la distance à la voie et de la vitesse des véhicules. Cet écart décroît lorsque la concentration en véhicules augmente et ne peut pas excéder celui imputable au passage d'un véhicule isolé.

### 6.1.2 Description du test

Dans un premier temps, les discontinuités sont repérables visuellement par observation de la variation temporelle des niveaux sonores sur les intervalles élémentaires au cours d'un intervalle de base. Il est fortement recommandé d'associer à la mesure un système de détection de seuil, permettant l'enregistrement du signal et sa reconnaissance auditive lorsque le niveau sonore sur un intervalle élémentaire dépasse sensiblement son domaine normal de variation (qui peut être apprécié au cours d'une mesure préalable).

Dans un deuxième temps, on compare les niveaux sonores successifs des intervalles élémentaires. L'ensemble des intervalles élémentaires correspondant à l'apparition d'un bruit parasite peut être repéré lorsqu'il est délimité entre une discontinuité positive ou une discontinuité négative des valeurs des niveaux sonores sur les intervalles élémentaires.

Le Tableau 4 indique les valeurs maximales des écarts admissibles pour deux intervalles élémentaires successifs de 125 ms, au-delà desquelles on considère qu'il existe une discontinuité.

**Tableau 1 — Écarts admissibles en dB(A) entre deux valeurs successives des niveaux sonores sur des intervalles élémentaires de 125 ms (en valeur absolue)**

Vitesse maximale (km/h)	Distance au bord de voie (m)			
	5 à 10	10 à 30	30 à 100	> 100
inférieure à 70	3	2	1	1
70 à 130	5	3	1,5	1

Le même test peut être réalisé sur des intervalles élémentaires d'une durée de 1 s, au moyen du Tableau 5 dont le pouvoir de résolution est beaucoup plus faible.

**Tableau 2 — Écarts admissibles en dB(A) entre deux valeurs successives des niveaux sonores sur des intervalles élémentaires de 1 s (en valeur absolue)**

Vitesse maximale (km/h)	Distance au bord de voie (m)			
	5 à 10	10 à 30	30 à 100	> 100
inférieure à 70	15	10	5	2
70 à 130	20	15	7	3

NOTE 1 Ces deux tableaux ont été obtenus à partir de calculs sur les signatures théoriques d'une source ponctuelle en mouvement, présentant un facteur de directivité variant comme la fonction cosinus et dont le maximum est dans la direction normale à l'axe de sa trajectoire.

NOTE 2 Des situations très particulières peuvent exister très près de l'infrastructure si le microphone est proche de l'arête verticale d'un obstacle cachant une partie de l'infrastructure et permettant l'apparition brutale du bruit d'un véhicule. Dans ces cas on recommande de ne pas appliquer ce test.

### 6.1.3 Interprétation des résultats

Le dépassement des valeurs précédentes peut témoigner de la présence d'un bruit accidentel imputable, soit au trafic mais non représentatif d'un trafic de long terme (avertisseur sonore, choc inhabituel), soit à une autre source de bruit au voisinage du point de mesure.

Les valeurs des niveaux sonores sur ces intervalles élémentaires doivent alors être éliminées de l'intervalle de base considéré. La durée de l'intervalle de base est réduite de la durée cumulée de ces intervalles élémentaires avant le calcul du  $L_{Aeq}$  dans cet intervalle.

Si cet intervalle de base doit être associé à un intervalle égal et simultané de mesure de trafic, la durée totale des intervalles élémentaires éliminés ne doit pas dépasser 20 % de la durée de l'intervalle de base considéré. Dans le cas contraire, on élimine du signal l'intervalle de base concerné.

## 6.2 Test statistique : répartition «gaussienne» du bruit dû au trafic routier

### 6.2.1 Principe de la validation

La validation consiste, pour un intervalle de base donné, à associer aux résultats énergétiques un test statistique simple, en supposant que la répartition des niveaux sonores générés par un trafic routier suit approximativement une loi normale (loi de Gauss).

Ce test ne peut être appliqué que pour une mesure réalisée avec une distance source-microphone supérieure à 5 m.

Le principe de la validation fait appel à la distribution statistique des niveaux sonores sur les intervalles élémentaires, décrite par les niveaux sonores  $L_{10}$  et  $L_{50}$ , correspondant aux niveaux sonores atteints ou dépassés pendant respectivement 10 % et 50 % du temps sur la période d'observation considérée.

Pour les mesures réalisées en zone dégagée relatives à des trafics réguliers, on calcule les niveaux  $L_{10}$  et  $L_{50}$  de chaque intervalle de base, à partir des  $L_{Aeq}$  mesurés sur les intervalles élémentaires.

On définit alors, pour chaque intervalle de base, l'indice :

$$L_{Aeq,Gauss} = L_{50} + 0,07 (L_{10} - L_{50})^2$$

Pour des mesures réalisées dans des rues en «U» ou pour des trafics discontinus ou gérés par des feux tricolores, si la contribution sonore de l'infrastructure considérée n'est pas perturbée par la présence de contributions d'autres infrastructures (en particulier proximité de carrefour), on calcule les niveaux  $L_{10}$  et  $L_{50}$  de chaque intervalle de base, à partir des  $L_{Aeq}$  mesurés sur les intervalles élémentaires.

On définit alors, pour chaque intervalle de base, l'indice :

$$L_{Aeq,Gauss} = (L_{10} + L_{50}) / 2 + 0,0175 (L_{10} - L_{50})^2$$

NOTE La rue en «U» est définie dans la norme NF S 31-130.

### 6.2.2 Description du test

On effectue pour chaque intervalle de base la différence suivante (formule (2)):

$$d = L_{Aeq,base} - L_{Aeq,Gauss} \quad \dots (2)$$

où :

$L_{Aeq,base}$  est le niveau de pression acoustique mesuré sur l'intervalle de base considéré.

### 6.2.3 Interprétation des résultats

Les mesures sont validées comme représentatives d'un bruit de trafic routier si  $d \leq 1$  dB(A) en valeur positive, c'est-à-dire si l'on a bien dans cet ordre :  $L_{Aeq,base} - L_{Aeq,Gauss} \leq 1$ .

Lorsque cette condition n'est pas respectée, cela ne signifie cependant pas nécessairement que les mesures ne sont pas représentatives du bruit de trafic routier mesuré.

Deux cas sont à considérer :

- un dépassement important de la valeur positive de 1 dB(A), qui traduit la présence de sources anormalement bruyantes ou de bruit parasite pendant moins de 10 % du temps. Ce peut être le cas en particulier lorsqu'on cherche à mesurer la contribution sonore d'un trafic contenant sporadiquement une forte concentration de poids lourds ou de véhicules particulièrement bruyants. Cependant, si ce n'est pas le cas, on doit contrôler l'absence d'apparition de bruits accidentels par analyse de la continuité de l'évolution temporelle des niveaux sonores sur les intervalles élémentaires ou par une analyse fine de la distribution statistique ;
- une valeur de  $d$  négative élevée ou non, qui révèle un trafic intermittent ou urbain discontinu. Ces valeurs permettent une interprétation de la mesure mais ne remettent pas en question sa validité.

## 6.3 Cohérence entre $L_{Aeq}$ et trafic pour chaque intervalle de base

### 6.3.1 Principe du test

Pour chaque intervalle de base on cherche à vérifier la relation théorique décrite par la formule (3) :

$$L_{Aeq,mes} = L_{Aeq,calc} \quad \dots (3)$$

où :

$L_{Aeq,mes}$  est le niveau de pression acoustique mesuré sur un intervalle de base considéré,

$L_{Aeq,calc}$  est le niveau de pression acoustique calculé sur le même intervalle de base.

Pour cela, on compare, au sein d'un intervalle de référence considéré, la variation des niveaux sonores mesurés sur les intervalles de base  $L_{Aeq,mes}$  et la variation des niveaux sonores théoriques  $L_{Aeq,calc}$ , calculés sur ces mêmes intervalles de base à partir des mesures de trafic et des mesures ou estimations de vitesse.

### 6.3.2 Méthode de comparaison

Sur l'intervalle de référence considéré, on trace les courbes de variation temporelle des deux fonctions suivantes décrites par les formules (4) et (5) :

$$L_{Aeq,mes}(i) = L_{Aeq,base}(i) \quad \dots (4)$$

$$L_{Aeq,calc}(i) = L_{Aeq,réf} + 10 \lg \left( \frac{Q_{eq}(i)}{Q_{eq,réf}} \right) + C_v * \lg \left( \frac{V_m(i)}{V_{m,réf}} \right) \quad \dots (5)$$

où :

$L_{Aeq,base}(i)$  est le niveau sonore mesuré sur l'intervalle de base  $i$ ,

$L_{Aeq,réf}$  est le niveau sonore mesuré sur l'intervalle de référence considéré,

$Q_{eq}(i)$  est le débit horaire acoustiquement équivalent mesuré sur l'intervalle de base  $i$ , exprimé en v/h,

$Q_{eq,réf}$  est le débit horaire acoustiquement équivalent mesuré sur l'intervalle de référence considéré, exprimé en v/h,

$C_v$  est une valeur dépendant des conditions de circulation. Elle est égale à 20 pour des vitesses moyennes du flot supérieures ou égales à 50 km/h et dans des conditions de trafic où la vitesse est stable et ne conduit pas à des changements fréquents de rapport de boîte de vitesse. Dans les autres cas, elle varie entre 0 et 20. À défaut d'une détermination de sa valeur optimale par traitement de mesures, il est possible d'adopter la valeur 10 pour les vitesses stabilisées inférieures à 50 km/h et la valeur 0 dans les autres cas.

$V_m(i)$  est la vitesse moyenne du flot mesurée ou estimée sur l'intervalle de base  $i$ , exprimée en m/s,

$V_{m,réf}$  est la vitesse moyenne du flot mesurée ou estimée sur l'intervalle de référence considéré, exprimée en m/s.

En l'absence de données sur la vitesse, celle-ci peut être considérée comme constante :  $V_m(i)$  égale à  $V_{m,ref}$  sur tout intervalle de base  $i$  compris dans l'intervalle de référence.

Exemple de tracé de courbes :

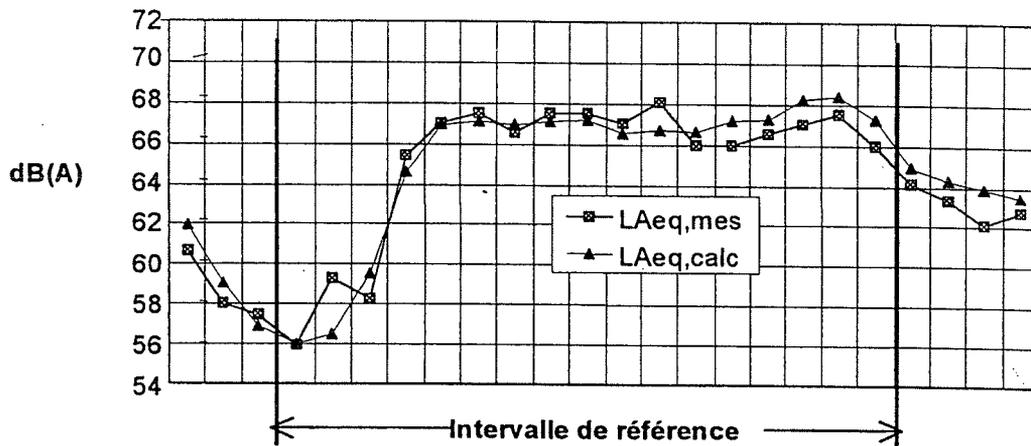


Figure 7

Pour chaque intervalle de base, on calcule la valeur absolue de la différence  $L_{Aeq,mes}(i) - L_{Aeq,calc}(i)$ .

Lorsque des écarts entre courbes sont constatés et que pour certains intervalles de base  $|L_{Aeq,mes}(i) - L_{Aeq,calc}(i)| > 3$  dB(A) des explications doivent être recherchées sur ces écarts.

Ils peuvent être expliqués, soit par l'occurrence d'un bruit particulier, soit par un effet de saturation de voie (qui peut apparaître pour des débits supérieurs à 1 500 véhicules par file sur autoroute, 700 véhicules par file en voirie urbaine primaire, 400 véhicules par file en voirie secondaire) ou enfin en raison de variations de conditions météorologiques.

Lorsque les conditions météorologiques varient au cours de l'intervalle de référence, les deux courbes doivent cependant rester sensiblement parallèles durant la période où les conditions restent stables.

## 6.4 Corrélation entre les niveaux sonores de deux points de mesure

### 6.4.1 Utilisation

Ce test peut permettre la comparaison de deux points de mesure, si leurs implantations respectent les exigences formulées en 5.2.3 sur les positions respectives des deux points. Il s'applique par exemple lorsque la mesure est réalisée à grande distance de l'infrastructure et se trouve perturbée par un bruit de trafic local. Dans ce cas, la corrélation bruit/trafic n'est pas suffisante pour valider la mesure car les différents trafics ne constituent pas des variables indépendantes. Pour valider la mesure, il est recommandé de réaliser une seconde mesure en parallèle, faisant appel au même échantillonnage, dans l'environnement proche de l'infrastructure objet du mesurage (distance 30 m environ).

Ce test s'applique aussi et en particulier pour évaluer la corrélation entre des mesurages de courte durée (ou «prélèvements»), tels que définis en 5.2.3, et des points de longue durée ou «points fixes». L'exploitation des résultats des prélèvements n'est en effet possible qu'à la condition où ceux-ci sont parfaitement corrélables avec les résultats donnés parallèlement par le point de longue durée ou «point fixe».

On dit que l'on procède au «calage» du prélèvement par rapport au point fixe (ou point de «référence»).

### 6.4.2 Principe

Les mesurages du point comparé (comp) sont effectués simultanément par rapport à ceux du point de référence (réf) sur au moins un intervalle de base.

Sur l'intervalle de mesure commun inclus entièrement dans un intervalle de référence, on cherche à comparer la variation des niveaux sonores au point comparé  $L_{Aeq,comp}$ , mesurés sur certains intervalles appelés intervalles de comparaison, d'une durée minimale d'une minute et d'une durée maximale égale à 1/10 de la durée de l'intervalle de base, et la variation des niveaux sonores au point de référence  $L_{Aeq,ref}$  mesurés sur ces mêmes intervalles de comparaison.

Pour cela :

- on échantillonne l'intervalle de mesurage commun inclus entièrement dans un intervalle de référence en intervalles de comparaison ;
- on trace, pour chaque intervalle de comparaison inclus entièrement dans l'intervalle de mesurage commun, les courbes de variation temporelle :

$$L_{Aeq,comp}(j) \text{ et } L_{Aeq,réf}(j)$$

où :

$L_{Aeq,comp}(j)$  est le niveau sonore mesuré au point comparé sur l'intervalle de comparaison  $j$  ;

$L_{Aeq,réf}(j)$  est le niveau sonore mesuré au point de référence sur l'intervalle de comparaison  $j$ .

NOTE Préalablement à la comparaison des courbes il faut prendre soin de s'assurer de la synchronisation des deux sonomètres, par exemple par examen visuel des évolutions temporelles des deux signaux sonores. Si cette synchronisation n'est pas assurée la comparaison est faite de façon privilégiée sur des intervalles de comparaison longs (par exemple 5 min).

### 6.4.3 Comparaison des courbes

#### 6.4.3.1 Comparaison sur chaque intervalle de base

Sur chaque intervalle de base, on calcule :

- pour chacun des intervalles de comparaison ( $j$ ), la différence  $\Delta(j) = L_{Aeq,comp}(j) - L_{Aeq,réf}(j)$  ;
- pour l'ensemble de l'intervalle de base, la différence  $\Delta_{base} = L_{Aeq,comp} - L_{Aeq,réf}$ .

avec :

$L_{Aeq,comp}$  le niveau sonore mesuré au point comparé sur l'intervalle de base considéré,

$L_{Aeq,réf}$  le niveau sonore mesuré au point de référence sur l'intervalle de base considéré.

Les éventuels intervalles de comparaison pour lesquels la différence  $\Delta(j)$  s'écarte de plus de 2 dB(A) de la différence  $\Delta_{base}$  sont supprimés de l'échantillon.

Si la durée totale des intervalles supprimés dépasse 20 % de la durée de l'intervalle de base, on considère que l'intervalle de base concerné ne peut pas être pris en compte pour le calage du point comparé sur le point de référence.

Dans le cas contraire, les  $L_{Aeq}$  mesurés sur l'intervalle de base puis la différence  $\Delta_{base}$  sont recalculés pour les seuls intervalles de comparaison conservés ; la différence  $\Delta_{base}$  ainsi obtenue caractérise l'intervalle de base considéré.

#### 6.4.3.2 Comparaison sur l'ensemble de l'intervalle de mesurage commun aux deux points

Lorsque l'intervalle de mesurage commun aux deux points inclut au moins trois intervalles de base validés selon la démarche décrite au 6.4.3.1, les valeurs  $\Delta_{base}(i)$  relatives à chacun de ces intervalles de base ( $i$ ) sont comparées selon une démarche similaire :

- on calcule les niveaux sonores  $L_{Aeq,comp}$  et  $L_{Aeq,réf}$  aux deux points sur l'intervalle regroupant l'ensemble des intervalles de base considérés,

- puis on calcule sur ce même intervalle la différence  $\Delta = L_{Aeq,comp} - L_{Aeq,réf}$ .

Les éventuels intervalles de base pour lesquels la différence  $\Delta_{base}(i)$  s'écarte de plus de 2 dB(A) de la différence  $\Delta$  sont supprimés de l'échantillon. La différence  $\Delta$  est ensuite recalculée pour les seuls intervalles de base conservés ; elle caractérise la relation entre les niveaux sonores au point comparé et au point de référence.

Si l'intervalle de mesurage commun aux deux points ne comprend qu'un seul intervalle de base validé, alors  $\Delta$  est égale à  $\Delta_{base}$ .

Si l'intervalle de mesurage commun aux deux points ne comprend que deux intervalles de base validés, la différence  $\Delta$  est calculée mais la comparaison avec les valeurs  $\Delta_{base}(i)$  ne peut pas être effectuée.

#### 6.4.4 Calage d'un prélèvement par rapport à un point fixe

Si les deux points de mesure respectent les spécifications détaillées au 5.2.3, le niveau sonore reflétant la situation acoustique au point de prélèvement (point comparé) sur un intervalle de référence est calculé par la formule (6) suivante :

$$L_{Aeq,Constat,comp} = L_{Aeq,Constat,réf} + \Delta \quad \dots (6)$$

où :

$L_{Aeq,Constat,comp}$  est le niveau sonore reflétant la situation acoustique au point de prélèvement (point comparé) sur l'intervalle de référence considéré,

$L_{Aeq,Constat,réf}$  est le niveau sonore mesuré au point fixe (point de référence) sur l'intervalle de référence considéré,

$\Delta$  est l'écart moyen entre les deux points sur l'intervalle référence considéré, calculé selon 6.4.3.

### 7 Estimation d'un niveau sonore de long terme trafic

Pendant la durée du mesurage, une évaluation du trafic routier (volume total, proportion de PL) et de la vitesse circulée (vitesse du flot) est associée au mesurage acoustique (voir 5.4). Cette évaluation permet le recalage de la mesure par rapport à d'autres conditions de trafic que celles existantes pendant le mesurage, selon la procédure suivante.

Il s'agit de déterminer le niveau sonore de long terme trafic. Il est obtenu par le calage du niveau sonore de constat par rapport à un trafic représentatif d'une situation de long terme, pour un intervalle de référence donné.

L'ajustement en fonction des caractéristiques du trafic doit être effectué selon la formule (7) suivante :

$$L_{Aeq,LT,t} = L_{Aeq,Constat} + 10 \lg \left( \frac{Q_{eq,LT}}{Q_{eq,mes}} \right) + 20 \lg \left( \frac{V_{m,LT}}{V_{m,mes}} \right) \quad \dots (7)$$

où :

$L_{Aeq,LT,t}$  est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A considéré comme représentatif du long terme trafic, sur l'intervalle de référence considéré,

$L_{Aeq,Constat}$  est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A de constat, sur l'intervalle de référence considéré,

$Q_{eq,LT}$  est le débit moyen horaire équivalent, considéré comme représentatif du long terme trafic sur l'intervalle de référence considéré,

$Q_{eq,mes}$  est le débit moyen horaire équivalent compté lors du mesurage sur l'intervalle de référence considéré,

$V_{m,LT}$  est la vitesse moyenne du flot de véhicules, considérée comme représentative de la vitesse de long terme sur l'intervalle de référence considéré,

$V_{m,mes}$  est la vitesse moyenne du flot de véhicules, estimée ou constatée lors du mesurage sur l'intervalle de référence considéré.

### 8 Détermination des conditions météorologiques

L'influence des conditions météorologiques sur les niveaux sonores pendant l'intervalle de mesurage peut être particulièrement importante. Elle se traduit par la modification de la courbure des rayons sonores, résultant de l'interaction du gradient de température, du gradient de vitesse et de la direction du vent.

Détectable dès que la distance source-récepteur atteint une cinquantaine de mètres, cet effet devient significatif au-delà de 100 m et son influence croît avec la distance séparant l'émetteur du récepteur. Pour les mesures de bruit routier, il est donc souhaitable de prendre en compte la météorologie dès que la distance source/récepteur atteint 100 m, pour des hauteurs de récepteurs de quelques mètres.

La prise en compte des effets météorologiques sur la propagation du bruit ne peut pas se faire de façon simple. C'est pourquoi la caractérisation des effets météorologiques décrite dans les paragraphes suivants a pour but de faciliter l'analyse et l'interprétation des données recueillies.

Cette évaluation des effets météorologiques nécessite la connaissance des conditions météorologiques sur le site de mesure pendant la durée des mesurages. L'acquisition de ces données peut être faite de manière qualitative (observations, recueil de données existantes) ou de façon plus quantitative (mesures par mâât météo) et permet la caractérisation des conditions de propagation sonore entre la source et le récepteur, pour chaque direction de propagation du son associée à un secteur angulaire et pour chaque intervalle de base.

Les conditions de propagation sonore sont classées selon les trois catégories définies en 3.4.6 :

- conditions défavorables pour la propagation sonore ;
- conditions homogènes pour la propagation sonore ;
- conditions favorables pour la propagation sonore.

L'objectif de ce paragraphe est de permettre la caractérisation des conditions de propagation sonore pendant la durée de mesurage en fonction des conditions météorologiques.

### 8.1 Choix d'une méthodologie d'acquisition

Les dispositions proposées dans les paragraphes suivants visent à résoudre au mieux le compromis « simplicité de mesurage/représentativité optimale » des conditions météorologiques.

Cela signifie que si on récupère toutes les informations météorologiques demandées dans ce document, on est certain d'avoir qualifié au mieux ces conditions. Toutefois, dans les applications opérationnelles il existe une gradation plus ou moins importante de qualification et donc de précision que l'on souhaite atteindre.

Par exemple, on demande une précision maximale lors d'expertises particulièrement délicates ou lors de mesures pour lesquelles les conditions de reproductibilité et de précision sont indispensables. On peut en particulier citer : la comparaison des mesures par rapport à une valeur limite ou encore la comparaison de mesures successives entre elles ; c'est le cas par exemple de la vérification de l'efficacité d'un moyen de protection (mesures avant et après protection).

Dans ce cas, il est fondamental de qualifier le plus précisément possible les conditions de propagation et on doit privilégier l'appréciation quantitative des données météorologiques.

De plus, pour garantir une reproductibilité de mesure maximale, il faut essayer de réaliser la totalité de ces mesures acoustiques dans des conditions micrométéorologiques favorables à la propagation sonore, sur tous les secteurs angulaires vus depuis le récepteur. C'est en effet pour ces familles de conditions météorologiques que l'écart-type de mesures acoustiques successives est le plus faible. Toutefois, les résultats de mesures effectuées dans ces conditions sont supérieurs au niveau sonore réel de long terme  $L_{Aeq,LT}$ , et même dans ces conditions les résultats des mesures acoustiques peuvent fluctuer au sein d'une même classe de conditions de propagation sonore.

Inversement, on peut trouver des cas où l'on ne recherche pas une précision aussi importante ; par exemple dans le cas d'une première approche ou dans des zones où l'on est certain d'être loin des niveaux sonores limites. Dans ces conditions, on accepte plus facilement une imprécision dans l'estimation des conditions météorologiques sous réserve de ne pas confondre les deux grandes familles de propagation situées de part et d'autre des conditions homogènes. Si les conditions météorologiques sont telles qu'elles risquent de mener à ce type d'indétermination, il est souhaitable de reporter la campagne d'acquisition. Il reste en effet indispensable d'effectuer les mesures acoustiques dans les conditions favorables pour la propagation sonore pour garantir une précision raisonnable des mesures. On peut ainsi alléger plus ou moins, en fonction des circonstances locales, la méthodologie de prise en compte des informations météorologiques. Au minimum, on doit connaître la direction et la vitesse du vent ainsi que le rayonnement.

Enfin dans certains cas, en particulier pour des mesurages réalisés en deçà d'une centaine de mètres de la source, la prise en compte des conditions météorologiques n'est pas nécessaire et on peut donc simplifier la procédure de mesures.

## 8.2 Recueil qualitatif des données caractérisant les conditions météorologiques de propagation sonore

L'objet de cette partie est de proposer une méthode simple d'appréciation des conditions de propagation sonore en fonction des conditions météorologiques, qui sont interprétées à l'aide d'une grille d'analyse.

L'appréciation de ces conditions de propagation et donc des paramètres suivants doit être faite pour chacun des secteurs angulaires déterminés conformément à 3.4.4, et pour chaque intervalle de base de l'intervalle de mesurage.

### 8.2.1 Vocabulaire lié à la grille d'analyse et données d'entrée

Les données d'entrée de la grille d'analyse sont volontairement décrites de façon peu précise afin de rester en cohérence d'une part avec l'aspect qualitatif des données de sortie et d'autre part avec le caractère statistique des résultats de l'observation. En effet, pour une même appréciation des conditions de propagation, les résultats en termes de niveaux sonores pourront fluctuer de façon plus ou moins importante et en particulier les classes de niveaux sonores constatés pour de mêmes conditions de propagation sonore pourront se superposer localement. À titre informatif, l'Annexe A fournit des conseils pour l'appréciation qualitative des conditions météorologiques.

#### 8.2.1.1 Direction de vent par rapport à une direction de propagation du son donnée

Pour chaque secteur angulaire du découpage de l'angle de vue de l'infrastructure depuis le récepteur (voir 3.4.4.), la direction de vent par rapport à la direction de propagation du son considérée est caractérisée selon les termes de la Figure 8.

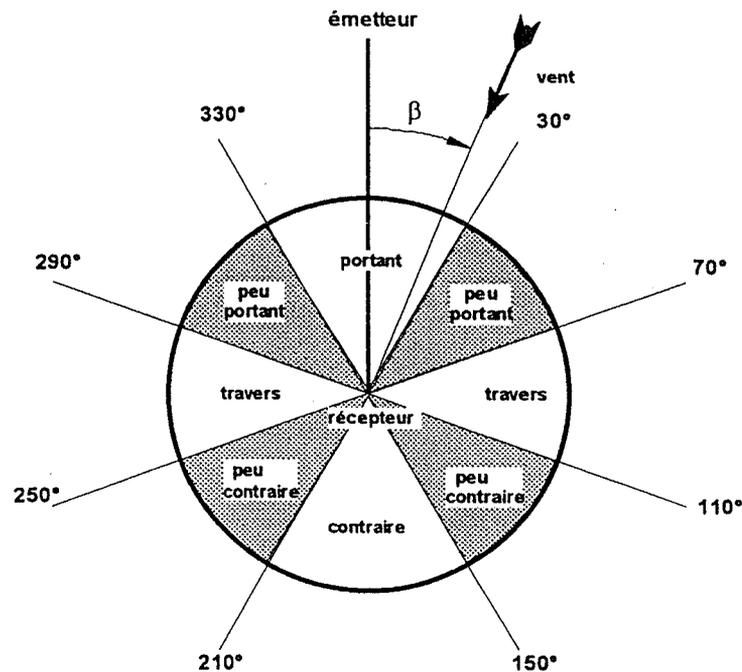


Figure 8 — Direction du vent par rapport à une direction de propagation du son

#### 8.2.1.2 Vitesse de vent

Elle est caractérisée de façon conventionnelle à 2 m au-dessus du sol par les termes suivants :

- vent fort ;
- vent moyen ;
- vent faible.

### 8.2.1.3 Rayonnement

On distingue de façon conventionnelle les deux classes suivantes :

- rayonnement fort ;
- rayonnement moyen à faible.

### 8.2.1.4 Couverture nuageuse

Elle est appréciée de façon conventionnelle selon les deux catégories suivantes :

- ciel nuageux : correspondant à plus de 20 % du ciel caché ;
- ciel dégagé : correspondant à plus de 80 % du ciel dégagé.

### 8.2.1.5 Humidité en surface

Cette information dépend fortement de la nature du sol et de « l'histoire » de la température, de l'ensoleillement et des précipitations dans les 15 jours précédant la mesure. Il n'est donc possible de donner que des indications extrêmes qui peuvent servir d'exemples. Ainsi on distingue de façon conventionnelle :

- surface sèche si elle n'a pas reçu d'eau dans les 48 h précédant le mesurage et pas plus de 2 mm dans le courant de la semaine précédant le mesurage ;
- surface humide dans les autres cas.

Ces états correspondent à des états particuliers. En réalité la surface du sol passe de façon continue d'un état à un autre. La description donnée consiste à préciser l'état dont elle est le plus proche.

### 8.2.1.6 Période de lever ou de coucher du soleil

Périodes situées respectivement après le lever de soleil et avant le coucher de soleil. À titre indicatif elles peuvent correspondre respectivement à la demi-heure après l'heure locale de lever de soleil et la demi-heure avant l'heure locale de coucher du soleil. Un élargissement de ces périodes peut être possible en hiver car l'établissement des gradients est plus lent qu'en été.

## 8.2.2 Grille d'analyse UiTi — Définition des conditions de propagation sonore

Le Tableau 8 présente une grille à double entrée (Ui : conditions aérodynamiques, Ti : conditions thermiques), qui caractérisent les conditions de propagation sonore en fonction des critères qualitatifs suivants :

### 8.2.2.1 Conditions aérodynamiques

- U1 = vent fort contraire ;
- U2 = vent moyen contraire OU vent fort peu contraire OU vent moyen peu contraire ;
- U3 = vent faible OU vent quelconque soufflant de travers ;
- U4 = vent moyen portant OU vent fort peu portant OU vent moyen peu portant ;
- U5 = vent fort portant.

Le Tableau 6 résume ces définitions.

Tableau 6

	Contraire	Peu contraire	De travers	Peu portant	Portant
Vent fort	U1	U2	U3	U4	U5
Vent moyen	U2	U2	U3	U4	U4
Vent faible	U3	U3	U3	U3	U3

### 8.2.2.2 Conditions thermiques

- T1 = jour ET rayonnement fort ET surface du sol sèche ET (vent moyen ou faible) ;
- T2 = jour ET [rayonnement moyen à faible OU surface du sol humide OU vent fort] (Si toutes les conditions reliées par des OU sont remplies, on se retrouve dans T3) ;
- T3 = période de lever du soleil OU période de coucher du soleil OU [jour ET rayonnement moyen à faible ET surface du sol humide ET vent fort] ;
- T4 = nuit ET (nuageux OU vent fort, moyen) ;
- T5 = nuit ET ciel dégagé ET vent faible.

Le Tableau 7 résume ces définitions.

Tableau 7

Période	Rayonnement/ couverture nuageuse	Humidité en surface	Vent	Ti
Jour	Fort	Surface sèche	Faible ou moyen	T1
			Fort	T2
		Surface humide	Faible ou moyen ou fort	T2
	Moyen à faible	Surface sèche	Faible ou moyen ou fort	T2
			Surface humide	Faible ou moyen
		Surface humide	Fort	T3
Période de lever ou de coucher du soleil				T3
Nuit	Ciel nuageux		Faible ou moyen ou fort	T4
	Ciel dégagé		Moyen ou fort	T4
			Faible	T5

À partir de ces critères, pour chaque secteur angulaire et donc pour chaque direction de propagation du son considérée, pour chaque intervalle de base, on détermine les coordonnées  $U_i T_i$  de la grille d'analyse dans le Tableau 8 et on en déduit les conditions de propagation, selon les symboles suivants :

- les conditions défavorables pour la propagation sonore, désignées par - et -- ;
- les conditions homogènes pour la propagation sonore, désignées par Z ;
- les conditions favorables pour la propagation sonore, désignées par + et ++.

Tableau 8 — Grille ( $U_i, T_i$ )

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

NOTE 1 Les conditions d'entrée  $U_i$  et  $T_i$  correspondent à des valeurs moyennes localement stationnaires, sur le lieu d'observation et pendant l'intervalle de base où elles sont relevées.

NOTE 2 Les conditions homogènes pour la propagation sonore constituent plus une limite entre deux types de conditions de propagation sonore qu'un mode de propagation stable. En effet, les conditions homogènes pour la propagation sonore sont rarement rencontrées en pratique. Les cases  $U_3 T_3$  et surtout  $U_2 T_4$  et  $U_4 T_2$  correspondent donc plutôt à des zones tampons entre les conditions favorables et défavorables pour la propagation sonore et leurs conditions d'apparition sont beaucoup plus improbables que les autres.

### 8.2.3 Recueil des informations d'entrée de la grille

Les informations nécessaires à l'utilisation de la grille UiTi nécessitent un recueil de données sur le site.

Cela implique en général la présence d'un observateur sur place et l'utilisation éventuelle d'appareils de mesures légers. Cette approche présente l'avantage de ne pas nécessiter de matériel complexe et permet une appréciation globale des données météorologiques du site concerné.

Le cas échéant, l'observateur peut s'aider avec des données issues d'une station météorologique permanente proche du site de mesure, lorsque la configuration de celle-ci le permet (voir ci-après).

Dans tous les cas, les informations doivent être recueillies sur chaque intervalle de base, pendant toute la durée de l'intervalle de mesurage.

Lorsque c'est possible, l'observation locale des conditions météorologiques pour apprécier les conditions de propagation doit être privilégiée.

Cette estimation se fait directement sur le site, par observations visuelles ou à l'aide d'un matériel de mesure simple permettant de conforter l'observation. Les appréciations qualitatives permettront d'entrer dans la grille UiTi selon les critères qualitatifs décrits en 8.2.1.

Il est possible d'estimer les paramètres suivants :

- direction du vent ;
- vitesse du vent ;
- rayonnement ;
- couverture nuageuse ;
- humidité du sol.

Pour permettre une analyse des conditions de propagation sonore sur un intervalle de référence, cette observation doit être réalisée pendant toute la durée de l'intervalle de référence considéré.

Des conseils pour l'observation locale des conditions météorologiques sont donnés en Annexe A.

Cependant, la caractérisation de la situation météorologique locale d'un site n'est pas toujours possible à partir des seules informations recueillies par observation, en particulier dans le cas où la présence d'un observateur n'est pas possible sur place pendant toute la durée du mesurage, par exemple pour les périodes nocturnes. Les observations locales peuvent alors être couplées avec les données fournies par une station météorologique fixe proche du site de mesure.

Ces données issues de la station météorologique la plus proche pourront être utilisées sous réserve des conditions suivantes :

- la station météorologique est proche du site de mesure ;
- le site de la station météorologique et celui de la zone à étudier sont comparables du point de vue topographique, de l'occupation et de la nature du sol ;
- le site est relativement plat et horizontal, dégagé avec peu d'obstacles hauts (excepté la façade objet de la mesure et les abords immédiats de l'infrastructure) ;
- le site est dépourvu de grandes masses d'eau (lacs, rivières larges).

Sur l'ensemble du territoire français les stations météorologiques de Météo France ainsi que d'autres réseaux permettent de recueillir des informations qui donnent une estimation des conditions météorologiques en un site donné.

Les données ainsi recueillies, généralement numériques, doivent être ensuite exprimées en fonction des paramètres de la grille UiTi. Des éléments utiles à l'exploitation de ces informations sont fournis en Annexe A.



### 8.3 Recueil quantitatif des données caractérisant les conditions météorologiques de propagation sonore

L'objet de ce paragraphe est de proposer une méthode de détermination quantitative des conditions de propagation sonore en fonction d'une appréciation quantitative des conditions météorologiques locales.

Cette estimation est possible à partir de mesures météorologiques sur site des paramètres décrivant la situation météorologique locale.

Elle nécessite l'utilisation de matériel sophistiqué et doit être envisagée sous réserve que la configuration du site s'y prête. En effet, sa pertinence est liée à la possibilité d'implantation d'un mât équipé de capteurs permettant un mesurage local des facteurs météorologiques, en un emplacement représentatif du site considéré. À titre informatif, l'Annexe B fournit des conseils pour l'implantation d'un mât sur certains types de topographies.

Les données recueillies sont interprétées selon les valeurs du gradient vertical de vitesse de son, pour une direction de propagation du son donnée et pour chaque intervalle de base.

#### 8.3.1 Détermination des conditions de propagation à partir du gradient vertical de vitesse de son

La valeur du gradient vertical de vitesse du son, pour une direction de propagation du son donnée, sur un intervalle de base considéré et à une hauteur donnée, est calculée à partir des valeurs moyennées sur l'intervalle de base considéré, de la direction du vent, du gradient vertical de vitesse de vent, du gradient vertical de température et de la température locale de l'air à la hauteur considérée, selon la formule (8) ci-dessous :

$$G_{\text{son}}(z) = \frac{k}{\sqrt{T(z)}} G_T(z) + G_W(z) \times \cos \beta \quad \text{avec } k = 10,0407 \text{ m.s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1/2} \quad \dots (8)$$

où :

$G_{\text{son}}(z)$  est le gradient local vertical de vitesse du son (en  $\text{s}^{-1}$ ), selon la direction du vent par rapport à la direction de propagation du son considérée  $b$ , à la hauteur  $z$ ,

$T(z)$  est la température locale de l'air (en degrés K), à la hauteur  $z$ ,

$G_T(z)$  est le gradient local vertical de température (en  $\text{K.m}^{-1}$ ), à la hauteur  $z$ ,

$G_W(z)$  est le gradient local vertical de vitesse de vent (en  $\text{s}^{-1}$ ), à la hauteur  $z$ ,

$\cos \beta$  est le terme correspondant à la projection du gradient local vertical de vitesse de vent sur la direction de propagation du son considérée  $\beta$ .

En première approximation on peut considérer que la vitesse du vent et la température varient en fonction du logarithme népérien de la hauteur par rapport au sol (formule (9)) :

$$V_{\text{vent}}(z) = a_w \ln(z) + b_w \quad \text{et} \quad T(z) = a_t \ln(z) + b_t \quad \dots (9)$$

où :

$a_w$  et  $a_t$  (les pentes) sont calculées par régressions log-linéaires en fonction de  $z$ , appliquées aux valeurs de  $V_{\text{vent}}(z)$  et  $T(z)$  mesurées par des capteurs du même mât.

Les gradients locaux verticaux de vitesse de vent et de température à la hauteur  $z$  sont alors estimés respectivement par les formules (10) et (11) :

$$G_W(z) = \frac{a_w}{z} \quad \dots (10)$$

$$G_T(z) = \frac{a_t}{z} \quad \dots (11)$$

où :

$a_w$  et  $a_t$  sont les pentes respectives des régressions log-linéaires précédentes.

Les limites des trois types de conditions de propagation, exprimées en termes de gradient local vertical de vitesse de son, sont les suivantes :

- zone en conditions défavorables pour la propagation sonore :  $G_{\text{son}} < a$  (zone -- et - de la grille qualitative) ;
- zone en conditions homogènes pour la propagation sonore :  $a \leq G_{\text{son}} \leq b$  (zone Z de la grille qualitative) ;
- zone en conditions favorables pour la propagation sonore :  $G_{\text{son}} > b$  (zone + et ++ de la grille qualitative).

Les valeurs indicatives de  $a$  et  $b$  actuellement retenues (de façon empirique) sont décrites dans le Tableau 9 :

**Tableau 9**

Hauteur d'estimation du gradient (m)	$a$ (s <sup>-1</sup> )	$b$ (s <sup>-1</sup> )
3	- 0,015	+ 0,015
6	- 0,01	+ 0,01
10	- 0,007	+ 0,007



Le gradient local vertical de vitesse du son est évalué à la hauteur moyenne source – récepteur la plus proche des hauteurs proposées dans le Tableau 9.

### 8.3.2 Recueil des données micrométéorologiques locales

La détermination des conditions de propagation sonore nécessite la connaissance du gradient vertical de vitesse de son, calculé à une hauteur donnée, à partir de la valeur à cette même hauteur des gradients verticaux de température et de vitesse horizontale du vent projetée sur la direction de propagation du son donnée.

Ces données sont obtenues par des mesures sur site des conditions météorologiques locales, à l'aide d'un mât équipé de capteurs météorologiques permettant un mesurage local à diverses hauteurs des valeurs de température de l'air, de la vitesse du vent et à la plus grande hauteur, de la direction du vent, que l'on peut chercher à corrélérer avec les informations de la station météorologique la plus proche, sous réserve d'une configuration de site équivalente.

Il est recommandé de placer un mât par zone de propagation homogène en termes d'obstacles, de relief, de nature du sol et de conditions météorologiques locales.

Les capteurs sont installés sur au moins deux hauteurs. Les hauteurs souhaitables des capteurs doivent vérifier les critères suivants :

- Dans tous les cas : la hauteur des capteurs les plus bas ne doit pas être inférieure à deux fois la hauteur de la végétation au droit du point de mesure, ou inférieure à 1 m ;
- Dans le cas où le montage est effectué pour deux hauteurs seulement :
  - au-dessus d'un sol nu ou couvert d'une végétation de hauteur inférieure à 50 cm, les hauteurs privilégiées des deux séries de capteurs sont 1 m et 3 m,
  - dans les cas où la hauteur de végétation est supérieure à 50 cm, les hauteurs privilégiées des deux séries de capteurs sont égales à deux fois la hauteur de la végétation et quatre fois la hauteur de la végétation.

Les capteurs comprennent à chaque hauteur au moins un anémomètre et une sonde de température à ventilation forcée, permettant la mesure respectivement de la vitesse du vent et de la température de l'air. À la plus grande hauteur, une girouette doit être installée pour mesurer la direction du vent. La durée des intervalles élémentaires des mesures doit permettre l'obtention de valeurs moyennes sur des intervalles de base.

L'implantation du mât doit être telle que les mesures réalisées correspondent aux conditions les plus représentatives de la propagation du bruit entre l'émetteur et le récepteur.

Des conseils d'implantation du mât sont présentés en Annexe B.

## 8.4 Analyse des résultats

### 8.4.1 Estimation des taux d'occurrences des conditions de propagation

- Sur un intervalle de référence considéré, pour chaque direction de propagation du son  $\varphi$  et pour chaque intervalle de base validé le composant, on détermine les conditions de propagation sonore suivant l'une des deux méthodes définies en 8.2 et 8.3.
- On note alors  $n_{\varphi,f}$ ,  $n_{\varphi,h}$ ,  $n_{\varphi,d}$  les grandeurs correspondantes aux nombres d'intervalles de base disjoints inclus dans l'intervalle de référence considéré, pour lesquels les conditions sont respectivement favorables, homogènes et défavorables pour la propagation.
- On définit ensuite, pour chaque direction de propagation du son donnée  $\varphi$ , les taux d'occurrences mesurées de chaque condition de propagation pour l'intervalle de référence considéré à l'étape a) :

- taux d'occurrences de conditions défavorables pour la propagation sonore : 
$$p_{\varphi,d,mes} = \frac{n_{\varphi,d}}{n_{base}} ;$$

- taux d'occurrences de conditions homogènes pour la propagation sonore : 
$$p_{\varphi,h,mes} = \frac{n_{\varphi,h}}{n_{base}} ;$$

- taux d'occurrences de conditions favorables pour la propagation sonore : 
$$p_{\varphi,f,mes} = \frac{n_{\varphi,f}}{n_{base}}$$

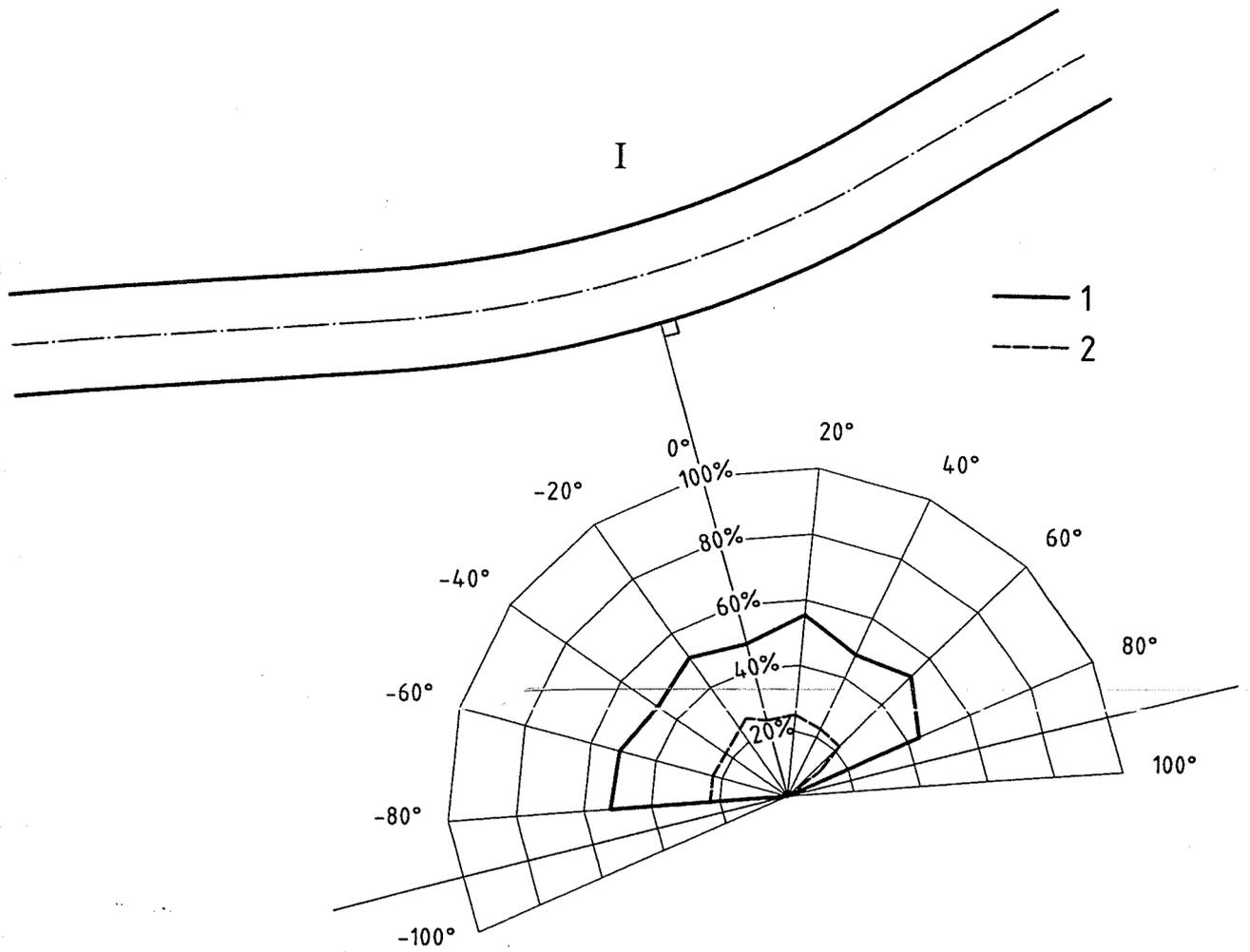
où :

$n_{base}$  est le nombre d'intervalles de base validés contenus dans l'intervalle de référence considéré à l'étape a).

On trouvera en Annexe C un exemple d'analyse.

### 8.4.2 Représentation graphique

Pour chaque intervalle de référence considéré, on représente la répartition angulaire des taux d'occurrences de conditions favorables et défavorables pour la propagation sonore, orientée par rapport à la perpendiculaire à l'infrastructure routière dont on cherche à mesurer la contribution acoustique (exemple en Figure 9).



**Légende**

- I Infrastructure routière
- 1 Conditions de propagation favorables
- 2 Conditions de propagation défavorables

**Figure 9 — Exemple de répartition angulaire des taux d'occurrences de conditions favorables et défavorables sur un intervalle de référence par rapport à la perpendiculaire à l'infrastructure considérée**

### 8.4.3 Comparaison vis-à-vis d'une situation de long terme

Dans la plupart des cas, le niveau sonore de long terme ne peut pas être mesuré. En effet, ce niveau de pression acoustique n'est accessible que si les effets des conditions météorologiques observées lors des mesurages sont représentatifs des effets des conditions de long terme. On cherche alors à évaluer la représentativité du niveau sonore mesuré sur un intervalle de référence par rapport au niveau sonore de long terme sur ce même intervalle de référence, en appliquant la démarche suivante.

Pour une direction de propagation du son donnée  $\varphi$ , pour chaque type de conditions donné (favorables, homogènes, défavorables) pour la propagation sonore, on note respectivement  $p_{\varphi,f,LT}$ ,  $p_{\varphi,h,LT}$  et  $p_{\varphi,d,LT}$  les taux d'occurrences de long terme sur l'intervalle de référence considéré. Ces grandeurs correspondent, pour un intervalle de référence donné et pour la direction de propagation du son considérée, aux taux d'apparition de chaque type de conditions de propagation, observés sur une période de long terme.

NOTE Certains de ces taux sont fournis par la norme XP S 31-133 pour des intervalles de référence jour et nuit 6 h-22 h et 22 h-6 h.

On trace alors, pour un intervalle de référence donné, la répartition angulaire de ces taux d'occurrences de conditions de propagation, pour les conditions favorables et défavorables pour la propagation sonore, orientée par rapport à la perpendiculaire à l'infrastructure.

Ces graphes sont comparés à ceux obtenus pour le même intervalle de référence et peuvent servir à l'interprétation des mesures.

Le niveau sonore mesuré ainsi que les taux d'occurrences des conditions de propagation observés pendant l'intervalle de mesure fournissent une base permettant d'approcher le niveau sonore de long terme.

## 9 Procès-verbal d'essai

Le procès-verbal d'essai doit faire référence à la présente norme et donner toutes indications utiles sur les points suivants. Ces informations sont données pour chaque mesurage.

### 9.1 Description générale

- Coordonnées et identification du laboratoire qui effectue le mesurage ;
- objet du mesurage ;
- nature du mesurage (mesurage de constat, mesurage et estimation d'un niveau sonore de long terme trafic, mesurage et interprétation d'un niveau sonore de long terme trafic vis-à-vis de conditions météorologiques de long terme) ;
- dates et horaires du mesurage ;
- localisation du mesurage.

### 9.2 Description de la configuration et des conditions du site lors du mesurage

#### a) Description générale du site

- Plan de situation avec indication d'orientation ;
- plan masse avec indication de l'échelle du plan qui devrait être de l'ordre de 1/250 à 1/5 000, de l'infrastructure considérée, de son profil en long et en travers, des bâtiments et des obstacles réfléchissants existants, de la distance horizontale des bâtiments par rapport au bord de l'infrastructure considérée, de la hauteur des bâtiments influençant la propagation, de la position des emplacements de mesurage (points fixes et prélèvements) et de leur distance horizontale au bord de la voie considérée ;
- croquis en coupe précisant l'emplacement des microphones ;
- photographies sur lesquelles apparaissent la voie considérée et les emplacements de mesurage ;
- type de site considéré : type d'urbanisme (dense, ouvert,...), zone non urbanisée ;
- estimation de l'angle de vue de l'infrastructure à partir du microphone.

## b) Description du sol

Le rapport de mesure doit contenir une description succincte des sols présents dans les différents secteurs de propagation entre l'infrastructure et le point de mesurage. La liste suivante présente des termes qui peuvent être utilisés pour décrire d'une part leur nature et d'autre part leur état au moment de la mesure.

Lorsque des sols différents sont présents dans un secteur de propagation, on évalue, pour chaque direction de propagation considérée, le pourcentage de distance couverte par chaque famille de sol, le long de la direction de propagation.

La nature des sols est décrite, par exemple selon des termes choisis parmi les suivants :

- sol de forêt fortement couvert de feuilles ou d'aiguilles, sol cultivé fraîchement labouré ou couvert d'une épaisse culture, prairie naturelle sur sol mou, pelouse engazonnée et parc urbain, prairie maigre sur sol dur, forêt suburbaine fortement piétinée, terrain de sport, cultures sur sol dur ou roulé, terrain empierré ou compacté, surface bitumée ou bétonnée ou pavée, plan d'eau, etc.

L'état des sols au moment de la mesure est traduit par les adjectifs suivants :

- sec, humide, détrempé, gelé

Des mesures par sol enneigé peuvent être réalisées si cette situation est représentative du site. L'état de la neige est traduit par les adjectifs : fraîche, transformée, gelée. Son épaisseur est exprimée en cm.

## c) Caractéristiques de l'infrastructure routière

- Géométrie de l'infrastructure (tracé en plan, profil en long, profil en travers type) ;
- protections existantes (le cas échéant) ;
- largeur de l'infrastructure considérée ;
- nombre de voies circulées ;
- sens de circulation ;
- allure du trafic ;
- revêtement de chaussée.

Le rapport de mesure doit contenir également une description succincte du revêtement de chaussée en relation avec ses propriétés acoustiques. On décrira d'une part sa nature et d'autre part son état au moment de la mesure.

La nature de la chaussée est décrite en fonction des informations disponibles, par la technique routière à laquelle elle correspond et éventuellement par la granulométrie.

Les descriptions de certaines techniques sont données dans les normes de la série NF P 98.

L'état du revêtement au moment de la mesure est caractérisé par :

- l'hygrométrie de la chaussée : sèche / détrempée ;
- l'état de surface : orniérage, présence de détritrus (boue, feuilles mortes, etc.).

## 9.3 Appareillage utilisé (acoustique et météorologique)

### a) Description des appareils de mesures

- Type ;
- dénomination ;
- numéro de série ;
- nom du constructeur.

## 9.4 Description des résultats bruts de mesurage et de leur validation

### a) Résultats acoustiques bruts

- Évolution temporelle par intervalle de base ;
- niveaux sonores de constat sur les intervalles de référence.

### b) Caractéristiques du trafic routier

- Origine des comptages et type de matériel utilisé ;
- débits VL et PL par intervalle de base ;
- vitesses moyennes.

### c) Description des conditions météorologiques

- Mode de recueil des données : observation locale, station météorologique fixe, mâât météorologique ;
- pour observation locale et station météorologique fixe : vitesse et direction du vent, rayonnement ou couverture nuageuse, humidité du sol, par direction de propagation du son et par intervalle de base ;
- pour mâât météo : vitesse et direction du vent, température, par direction de propagation du son et par intervalle de base ;
- pour une station météorologique fixe : distance entre le site et la station la plus proche, coordonnées de la station fixe ;
- conditions de propagation sonore : description par direction de propagation du son et par intervalle de base.

### d) Résultats des tests de validation

## 9.5 Description des hypothèses de recalage et d'analyse vis-à-vis d'un niveau sonore de long terme

### a) Recalage trafic

- Hypothèses de trafic représentatives d'une situation de long terme : débit VL, débit PL, vitesse moyenne long terme, origine des données ;
- niveaux sonores de long terme trafic par intervalle de référence (voir 7).

### b) Résultats des analyses météorologiques

- Description de la répartition angulaire des taux d'occurrences des conditions favorables et défavorables pour la propagation sonore, par rapport à la perpendiculaire à l'infrastructure, pour chaque intervalle de référence (voir 8.4.2.) ;
- comparaison éventuelle avec une situation de long terme et origine des données de long terme.

**Annexe A**  
(informative)

**Conseils pour l'appréciation qualitative des conditions météorologiques**

**A.1 Valeurs numériques des données d'entrée de la grille UiTi**

À titre indicatif, on donne ci-dessous des valeurs chiffrées de grandeurs d'entrée de la grille UiTi. Ces valeurs correspondent à des valeurs moyennes observées sur la totalité de l'intervalle de base considéré. En particulier, les prélèvements ponctuels au cours de l'intervalle de base considéré ne peuvent permettre de caractériser de façon suffisamment précise les conditions météorologiques pendant cet intervalle.

**A.1.1 Vitesse de vent**

On peut admettre les valeurs conventionnelles suivantes, définies à une hauteur de 2 m au-dessus du sol :

- **vent fort** : vitesse du vent > 3 m/s ;
- **vent moyen** : 1 m/s < vitesse du vent < 3 m/s ;
- **vent faible** : vitesse du vent < 1 m/s.

**A.1.2 Direction de vent**

Le Tableau A.1 présente les équivalences entre les données Météo-France, les mesures à partir de mâts micro météorologiques et la classification qualitative pour la grille UiTi, par rapport à une direction de propagation du son donnée, référencée comme la direction 0.

**Tableau A.1**

Directions de Vent Météo-France (valeurs centrées des secteurs en degrés)	Limites angulaires pour classification par anémomètre manuel (degrés)	Direction de vent équivalente de la grille UiTi
340°, 0°, 20°	330° à 30°	Portant
40°, 60°	> 30° à 70°	Peu portant
80°, 100°	> 70° à 110°	Travers
120°, 140°	> 110° à 150°	Peu contraire
160°, 180°, 200°	> 150° à 210°	Contraire
220°, 240°	> 210° à 250°	Peu contraire
260°, 280°	> 250° à 290°	Travers
300°, 320°	> 290° à 330°	Peu portant

**A.1.3 Rayonnement**

On peut admettre les valeurs conventionnelles suivantes :

- **fort rayonnement** : rayonnement supérieur à 400 W/m<sup>2</sup> ;
- **rayonnement moyen** : rayonnement compris entre 400 W/m<sup>2</sup> et 40 W/m<sup>2</sup> ;
- **rayonnement faible** : rayonnement inférieur à 40 W/m<sup>2</sup>.

### A.1.4 Couverture nuageuse

On peut admettre les valeurs conventionnelles suivantes :

- **nuageux** : pour une valeur comprise entre 3 et 8 octas ;
- **ciel dégagé** : pour une valeur inférieure ou égale à 2 octas.

### A.1.5 Lever / coucher de soleil

Les heures locales de lever et coucher du soleil peuvent être appréciées par observation locale sur le terrain.

## A.2 Observation locale des conditions météorologiques

Dans le cas d'un site comportant une topographie non plane et des obstacles particuliers (végétation, bâtiments), idéalement il serait nécessaire d'effectuer pour chaque intervalle de base une estimation tout au long du trajet acoustique pour caractériser un état spatial moyen des caractéristiques micrométéorologiques du site.

Pour cette estimation on peut faire les remarques suivantes :

#### a) Direction du vent

Il faut veiller à ce que la direction estimée soit bien représentative de l'ensemble du chemin de propagation du son vis-à-vis de la totalité de l'infrastructure considérée.

Près des zones présentant des obstacles en hauteur (zones habitées par exemple), on attire l'attention sur le fait que les directions locales et les vitesses horizontales de vent peuvent être très différentes de la direction générale.

Pour l'estimation de la vitesse et de la direction du vent, on peut s'aider d'un matériel simple, permettant un mesurage des paramètres sur chaque intervalle de base.

#### b) Vitesse horizontale du vent

La vitesse peut se mesurer périodiquement avec un matériel à main. Il convient d'échantillonner continûment cette vitesse pendant toute la durée des intervalles de base et d'en faire une estimation quantitative moyenne sur la durée de ces intervalles.

#### c) Rayonnement

Cette valeur est fonction de l'intensité de l'énergie solaire qui arrive au sol. Afin de préciser cette notion, nous donnons ci-après quelques exemples de rayonnement :

- un fort rayonnement se rencontre au moment où le soleil est au voisinage du zénith ( $\pm 3$  h) avec une absence totale de nuage, dans la période allant de l'équinoxe de printemps à celui d'automne ;
- un rayonnement moyen se rencontre dans l'une des circonstances suivantes :
  - soleil à  $\pm 3$  h par rapport au zénith (dans la période allant de l'équinoxe de printemps à celui d'automne mais avec couverture nuageuse au moins égale à 6 octas ;
  - 1 h après le lever du soleil jusqu'à 3 h avant le zénith avec une couverture nuageuse au plus égale à 4 octas (dans la période allant de l'équinoxe de printemps à celui d'automne) ;
  - 3 h après le zénith jusqu'à 1 h avant le coucher du soleil avec une couverture nuageuse au plus égale à 4 octas (dans la période allant de l'équinoxe de printemps à celui d'automne).

Pour cette estimation, on peut utiliser un solarimètre manuel.

#### d) Couverture nuageuse (la nuit)

La couverture nuageuse durant la nuit peut être évaluée à partir de mesures de rayonnement atmosphérique. Lorsque de telles mesures ne sont pas réalisables, on peut se contenter d'apprécier la présence ou non de nuages.

### A.3 Conditions météorologiques issues d'une station fixe

Ces informations concernent les valeurs moyennes horaires des paramètres énumérés ci-après. Ces valeurs seront utilisées pour caractériser chaque intervalle de base de l'heure considérée.

#### a) Vitesse du vent

Elle est donnée en général à une hauteur de 10 m, exprimée en m/s. Pour se ramener à une hauteur différente, on utilise la formule (A.1) :

$$V(z \text{ en m}) = V(10 \text{ m}) \times \frac{\text{Ln}(z/z_0)}{\text{Ln}(10/z_0)} \quad \dots (A.1)$$

où :

$$z_0 \approx h/10,$$

$h$  est la hauteur moyenne des éléments présents à la surface du sol (végétation, obstacle...),

$V(z \text{ en m})$  est la vitesse du vent à  $z$  mètres de hauteur,

$V(10 \text{ m})$  est la vitesse du vent à 10 m de hauteur.

NOTE On donne ci-après quelques valeurs de  $z_0$  :

— sol nu et lisse, gazon ras :  $z_0 = 10^{-3} \text{ m}$  ;

— sol labouré, herbe :  $z_0 = 10^{-2} \text{ m}$  ;

— culture basse :  $z_0 = 10^{-1} \text{ m}$  ;

— zone semi-urbaine :  $z_0 \approx 1 \text{ m}$ .

#### b) Direction du vent

Il s'agit de la valeur à 10 m de hauteur.

Météo-France fournit, suivant le site, la direction du vent par rapport au Nord géographique par secteurs de 20°, 22,5° ou 45°.

#### c) Rayonnement global (pour certaines stations)

Il s'agit du rayonnement moyen observé sur une année dans cette zone. La valeur de ce rayonnement est exprimée en  $W/m^2$ .

#### d) Couverture nuageuse

Elle est donnée en octas. Les valeurs possibles vont de 0 à 8 : 8 octas correspondant à un ciel entièrement couvert (on ne voit pas le ciel) et 0 octa à un ciel entièrement dégagé (il n'y a pas de nuages).

#### e) Heures de lever et de coucher du soleil

Il s'agit des heures locales de lever et coucher de soleil.

Le Tableau A.2 synthétise les différents moyens d'acquisition des données météorologiques ne nécessitant pas une installation lourde de matériel.

**Tableau A.2 — Tableau synthétique des moyens d'appréciation locaux des conditions météorologiques**

Paramètres	Observation ou matériel léger	Mât météorologique	Données issues station fixe
Direction du vent	Oui	Oui — girouette	Oui
Vitesse du vent	Oui	Oui — anémomètre	Oui
Rayonnement	Oui	Oui — solarimètre	Oui
Couverture nuageuse	Oui	Non	Oui parfois
Humidité de surface	Oui	Non	Non

## Annexe B

(informative)

### Conseils pour l'appréciation quantitative des conditions météorologiques — Implantation d'un mât météorologique

#### B.1 Avertissement

La position du mât météorologique est choisie pour que les informations recueillies soient représentatives de l'état moyen de l'atmosphère entre la source sonore et le récepteur. Il s'en suit, sauf indication contraire, que le mât est en général placé à mi-distance entre la source et le récepteur.

Par conséquent, dans les zones pouvant présenter des turbulences en raison de l'existence d'obstacles, les caractéristiques aérodynamiques peuvent être totalement erronées et ne pas être du tout représentatives.

En outre, si les conditions de propagation le long de l'infrastructure sont très différentes, on pourrait être amené à utiliser plusieurs mâts.

Il ne faut donc pas prendre ces dispositions du mât météorologique comme de «bons emplacements» mais plutôt les considérer comme les «moins mauvais».

#### B.2 Propositions de positionnement du mât météorologique

##### B.2.1 Notations utilisées

- S Source sonore matérialisée par l'infrastructure routière la plus proche du récepteur considéré
- R Récepteur
- D Distance horizontale entre la source et le récepteur
- M Mât météorologique

NOTE Dans les graphiques présentés par la suite (Figures B.1, B.2, B.3 et B.4), les positions de la source S et du récepteur R peuvent être inversées.

##### B.2.2 Principes généraux

Les paramètres météorologiques sont mesurés pour  $D > 100$  m.

La mise en place d'un mât météorologique par point récepteur n'est pas imposée. On positionne en général le mât par zone de propagation sonore homogène vis-à-vis des conditions météorologiques.

### B.2.3 Exemples d'implantation

#### B.2.3.1 Sol plan horizontal ou incliné

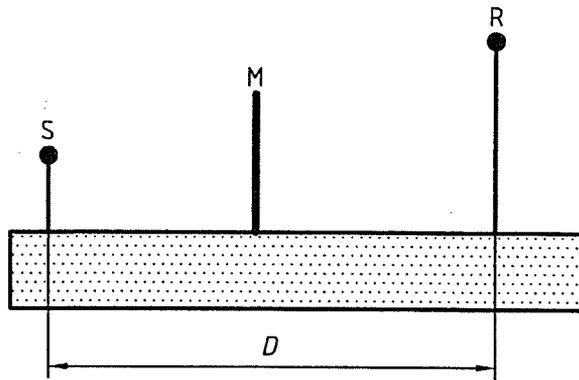
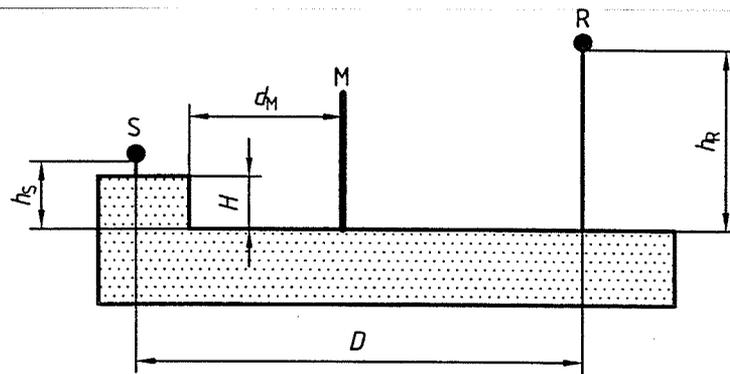
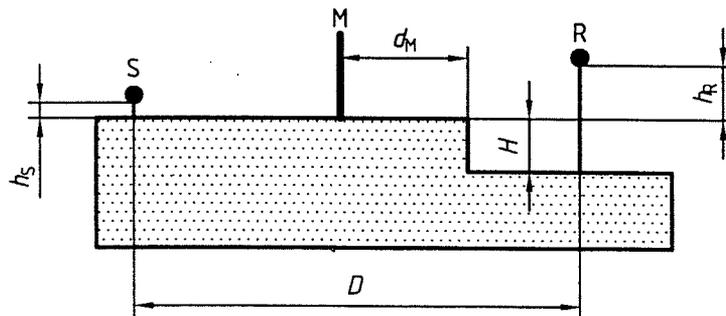


Figure B.1 — Mât météorologique implanté à une distance aussi proche que possible de  $D/2$

#### B.2.3.2 Sol en escalier



a) Cas n° 1



b) Cas n° 2

Figure B.2 — Mât météorologique implanté à  $D/2$  en respectant  $d_M > 10 H$

état  
ai est  
les  
-ené  
plutôt  
et du  
al un

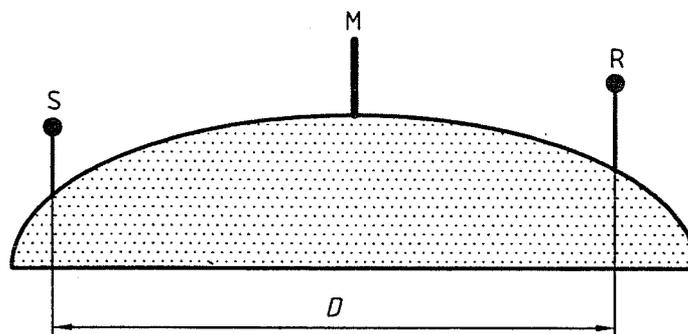
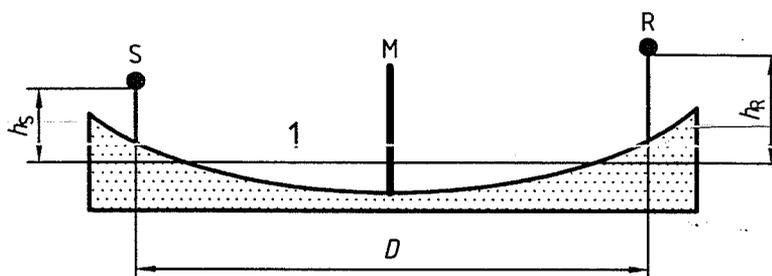
**B.2.3.3 Sol convexe**

Figure B.3 — Mât météorologique implanté à  $D/2$  valable pour un sol peu convexe

**B.2.3.4 Sol concave****Légende**

1 Plan moyen

Figure B.4 — Mât météorologique implanté à  $D/2$  valable pour un sol peu concave

**Annexe C**  
(informative)

**Exemple d'analyse des conditions de propagation sonore**

Les étapes renvoient au paragraphe 8.4.1 du présent document.

**a) Étape a) du 8.4.1**

**Tableau C.1**

$I_{référence}$	$I_{base}$	Directions de propagation du son					
		...	$\varphi_{-1}$	$\varphi_0$	$\varphi_1$	$\varphi_2$	...
Début 6 h 00	$I_1 : 6 \text{ h } 00 \text{ — } 6 \text{ h } 30$	++	+	Z	-	-	--
	$I_2 : 6 \text{ h } 30 \text{ — } 7 \text{ h } 00$	+	+	+	Z	-	--
	.....	....	....	.....	.....	.....	.....
Fin 22 h 00	$I_{32} : 21 \text{ h } 30 \text{ — } 22 \text{ h } 00$	-	Z	Z	+	+	+

**b) Étape b) du 8.4.1**

**Tableau C.2**

$I_{mesurage}$	$I_{base}$	Directions de propagation du son					
		...	$\varphi_{-1}$	$\varphi_0$	$\varphi_1$	$\varphi_2$	...
Début 6 h 00	$I_1 : 6 \text{ h } 00 \text{ — } 6 \text{ h } 30$	++	+	Z	-	-	--
	$I_2 : 6 \text{ h } 30 \text{ — } 7 \text{ h } 00$	+	+	+	Z	-	--
	.....	....	....	.....	.....	.....	.....
Fin 22 h 00	$I_{32} : 21 \text{ h } 30 \text{ — } 22 \text{ h } 00$	-	Z	Z	+	+	+
Nombre d'apparitions de chaque condition de propagation				$n_{\varphi_0,d}, n_{\varphi_0,h}, n_{\varphi_0,f}$			

**c) Étape c) du 8.4.1**

**Tableau C.3**

$I_{mesurage}$	$I_{base}$	Directions de propagation du son					
		...	$\varphi_{-1}$	$\varphi_0$	$\varphi_1$	$\varphi_2$	...
Début 6 h 00	$I_1 : 6 \text{ h } 00 \text{ — } 6 \text{ h } 30$	++	+	Z	-	-	--
	$I_2 : 6 \text{ h } 30 \text{ — } 7 \text{ h } 00$	+	+	+	Z	-	--
	.....	....	....	.....	.....	.....	.....
Fin 22 h 00	$I_{32} : 21 \text{ h } 30 \text{ — } 22 \text{ h } 00$	-	Z	Z	+	+	+
Nombre d'apparitions de chaque condition de propagation				$n_{\varphi_0,d}, n_{\varphi_0,h}, n_{\varphi_0,f}$			
Taux d'occurrences de chaque condition de propagation				$\rho_{\varphi,d,mes} = \frac{n_{\varphi,d}}{n_{base}}$ $\rho_{\varphi,h,mes} = \frac{n_{\varphi,h}}{n_{base}}$ $\rho_{\varphi,f,mes} = \frac{n_{\varphi,f}}{n_{base}}$			

## Annexe D (informative)

### Dissociation des contributions de différentes sources

La dissociation des contributions de différentes sources est un travail délicat, particulièrement lorsque chacune des sources est d'origine routière. Pour que cette séparation reste possible, il faut que les distances entre le point de mesure et les deux infrastructures routières considérées soient très différentes et que le débit de l'infrastructure la plus proche soit beaucoup plus faible que celui de l'infrastructure lointaine.

Deux méthodes pourront être utilisées et il est recommandé de faire appel à ces deux méthodes en parallèle. En effet, chaque méthode repose sur des hypothèses qui donnent lieu à des exceptions, la séparation peut être imprécise lorsque la contribution des deux sources est voisine ou lorsque l'on s'intéresse à la source produisant le niveau  $L_{Aeq}$  le moins élevé. L'usage d'une seconde méthode permet d'améliorer la précision.

#### D.1 Corrélation entre le niveau sonore et les deux trafics

##### D.1.1 Domaine d'utilisation

Cette méthode suppose une bonne corrélation entre la contribution sonore et le trafic des deux routes (condition 1). Elle n'est donc pas applicable aux intervalles de base pour lesquels les vitesses sont faibles, notamment les périodes de saturation du trafic.

Elle suppose en outre que l'atténuation de la contribution sonore de chacune des routes due à la propagation ne varie pas dans le temps (condition 2). Si le point de mesure est situé à plus de 100 m de l'une des deux routes, l'ensemble des intervalles de base utilisé dans le test doit correspondre à des conditions météorologiques similaires.

Enfin, elle suppose que les variations dans le temps des trafics des deux routes répondent à des lois différentes (condition 3). Un test préalable appliqué aux débits acoustiquement équivalents des intervalles de base doit mettre en évidence cette absence de corrélation, et les périodes de la journée où cette corrélation existe sont écartées du test.

##### D.1.2 Principe de la méthode

Cette méthode suppose que la contribution sonore de chacune des routes au point de mesure varie selon la formule :

$$L_{Aeq} = 10.\log(Q_{eq}) + 20.\log(V) - 10.\log(d) + 10.\log(C) \quad \dots (D.1)$$

où :

$Q_{eq}$  est le débit acoustiquement équivalent ;

$V$  est la vitesse moyenne ;

$d$  est la distance entre la route et le point de mesure ;

$C$  caractérise l'atténuation en propagation (à l'exception de la divergence géométrique, prise en compte dans le terme  $10.\log(d)$ ) : effet de sol, absorption atmosphérique, effets d'obstacles.

$C$  ne varie pas dans le temps si les conditions météorologiques sont similaires sur l'ensemble de l'échantillon, ou si l'effet de leur variation reste négligeable.

Si la formule ci-dessus est vérifiée pour les deux routes, et si en outre les variations dans le temps des deux trafics répondent à des lois différentes, il est possible de séparer les contributions sonores des deux routes par le calcul d'une régression multiple.

### D.1.3 Détail de la démarche

La méthode s'applique aux données (niveaux sonores, débits, vitesses) relatives à chaque intervalle de base. Elle consiste à effectuer la régression :

$$10^{(L_{Aeq}/10)} = C_0 + \frac{C_1}{d_1} \times (Q_{eq,1} \times V_1^2) + \frac{C_2}{d_2} \times (Q_{eq,2} \times V_2^2) \quad \dots (D.2)$$

où :

$C_0, C_1, C_2$  sont les valeurs à déterminer par le calcul de régression ;

$Q_{eq,1}$  et  $V_1$  sont le débit acoustiquement équivalent et la vitesse moyenne de la route 1 pour chaque intervalle de base ;

$Q_{eq,2}$  et  $V_2$  sont le débit acoustiquement équivalent et la vitesse moyenne de la route 2 pour chaque intervalle de base ;

$d_1$  et  $d_2$  sont les distances respectives du point de mesure aux deux routes. Le caractère approximatif de l'estimation des distances n'affecte pas la séparation des niveaux sonores.

$10 \cdot \log(C_1/C_2)$  représente la différence entre les atténuations en propagation (excepté la divergence géométrique) subies par les contributions sonores de chaque route. On vérifie que sa valeur est vraisemblable. Cette valeur peut être affectée par l'estimation des vitesses et des distances.

En théorie, la valeur de  $C_0$  est nulle. En pratique, elle doit rester négligeable (moins de 30 %) devant celle de l'ensemble de la relation (la part du bruit global non attribuée à l'une des deux routes est alors inférieure d'au moins 5 dB(A) au niveau sonore global). Il est recommandé de recalculer la valeur élémentaire de  $C_0$  pour chaque intervalle de base en recalculant la relation d'origine avec les valeurs numériques obtenues pour  $C_1$  et  $C_2$ . Une valeur non négligeable de  $C_0$  dans un intervalle déterminé peut signifier soit la présence d'un bruit parasite, soit une sous-estimation des vitesses réelles, ou, si  $C_0$  prend une valeur négative, un effet de saturation en heure de pointe. Une valeur anormale de  $C_0$  peut aussi signifier une variation des conditions météorologiques non décelée au préalable. Si la valeur excessive de  $C_0$  ne peut pas être expliquée, l'intervalle considéré doit être éliminé.

Pour les intervalles de base où la valeur recalculée de  $C_0$  est satisfaisante, la contribution sonore de la route n est ensuite estimée par la relation :

$$L_{Aeq_n} = 10 \cdot \log(Q_{eq_n}) + 20 \cdot \log(V_n) - 10 \cdot \log(d_n) + 10 \cdot \log(C_n) \quad \dots (D.3)$$

## D.2 Corrélation entre les niveaux sonores mesurés à proximité de chacune des deux voies et le niveau sonore au point à double exposition

### D.2.1 Domaine d'utilisation

Cette méthode consiste à réaliser, en complément de la mesure au point à double exposition, des mesures en deux points proches de chacune des deux routes. La distance de ces points au bord de route doit être supérieure à deux fois la largeur de la route considérée.

Comme pour la méthode précédente, lorsque la propagation est affectée par les variations des conditions météorologiques, les intervalles de base doivent être regroupés par conditions météorologiques similaires.

En revanche, elle n'est pas soumise aux conditions n° 1 et 3 de la méthode précédente. Elle peut donc être appliquée aux situations où les vitesses sont faibles, ainsi qu'aux situations où les variations dans le temps des trafics des deux routes sont corrélées.

Cette méthode est plus précise que la méthode précédente, et son emploi peut être nécessaire lorsque la route qui est le principal objet du mesurage est lointaine et lorsque sa contribution sonore est, pour certains intervalles de base, bien inférieure à celle de la route la plus proche.

Une variante de cette méthode consiste à ne placer un point de mesure proche que pour une seule des deux routes, celle dont l'extraction peut paraître la plus délicate, et à appliquer en complément la démarche précédente pour estimer la contribution sonore de la seconde route. Dans ce cas, la condition relative aux vitesses faibles s'applique à la route non associée à un point proche.

## D.2.2 Principe de la méthode

Cette méthode suppose que la contribution sonore de chacune des routes au point à double exposition est liée au niveau sonore au point proche de la route par la formule :

$$L_{Aeq\text{double}} = L_{Aeq\text{proche}} + 10.\log(d_{\text{proche}}) - 10.\log(d_{\text{double}}) + 10.\log(C) \quad \dots (D.4)$$

où :

- $L_{Aeq\text{double}}$  est la contribution sonore de la route au point à double exposition ;
- $L_{Aeq\text{proche}}$  est le niveau sonore au point proche de la route ;
- $d_{\text{proche}}$  est la distance entre la route et le point proche ;
- $d_{\text{double}}$  est la distance entre la route et le point à double exposition ;
- $C$  caractérise l'atténuation en propagation entre les deux points (à l'exception de la divergence géométrique).

$C$  ne varie pas dans le temps si les conditions météorologiques sont similaires sur l'ensemble de l'échantillon, ou si l'effet de leur variation reste négligeable. Si la formule ci-dessus est vérifiée pour les deux routes, il est possible de séparer les contributions sonores des deux routes par le calcul d'une régression multiple.

## D.2.3 Détail de la démarche pour deux points proches

La méthode s'applique aux niveaux sonores relatifs à chaque intervalle de base. Elle consiste à effectuer la régression :

$$10^{(L_{Aeq}/10)} = C_0 + C_1 \times \frac{d_{1,p}}{d_1} \times 10^{[L_{Aeq,1,p}/10]} + C_2 \times \frac{d_{2,p}}{d_2} \times 10^{[L_{Aeq,2,p}/10]} \quad \dots (D.5)$$

où :

- $C_0, C_1, C_2$  sont les valeurs à déterminer par le calcul de régression ;
- $L_{Aeq}$  est le niveau sonore mesuré au point à double exposition sur chaque intervalle de base ;
- $L_{Aeq,1,p}$  et  $L_{Aeq,2,p}$  sont les niveaux sonores mesurés aux points proches respectivement des routes 1 et 2 sur chaque intervalle de base ;
- $d_{1,p}$  et  $d_{2,p}$  sont les distances respectives des points proches n° 1 et 2 à la route à laquelle ils sont associés ;
- $d_1$  et  $d_2$  sont les distances respectives du point à double exposition aux deux routes.

Le test sur la valeur de  $C_0$  doit être réalisé comme pour la méthode précédente.

Pour les intervalles de base où la valeur recalculée de  $C_0$  est satisfaisante, la contribution sonore de la route  $n$  au point à double exposition est ensuite estimée par la relation :

$$L_{Aeq_n} = L_{aeq_{n,p}} + 10.\log(d_{n,p}) - 10.\log(d_n) + 10.\log(C_n) \quad \dots (D.6)$$

### D.2.4 Détail de la démarche pour un seul point proche

La méthode s'applique aux niveaux sonores relatifs à chaque intervalle de base et combine les deux approches décrites précédemment. Elle consiste à effectuer la régression :

$$10^{(L_{Aeq}/10)} = C_0 + C_1 \times \frac{d_{1,p}}{d_1} \times 10^{[L_{Aeq,1,p}/10]} + \frac{C_2}{d_2} \times (Q_{eq,2} \times V_2^2) \quad \dots (D.7)$$

où :

$C_0, C_1, C_2$  sont les valeurs à déterminer par le calcul de régression ;

$L_{Aeq}$  est le niveau sonore mesuré au point à double exposition sur chaque intervalle de base ;

$L_{Aeq,1,p}$  est le niveau sonore mesuré au point proche de la route 1 sur chaque intervalle de base ;

$d_{1,p}$  est la distance du point proche n° 1 à la route associée ;

$d_1$  et  $d_2$  sont les distances respectives du point à double exposition aux deux routes ;

$Q_{eq,2}$  et  $V_2$  sont le débit acoustiquement équivalent et la vitesse moyenne de la route 2 pour chaque intervalle de base.

Le test sur la valeur de  $C_0$  est réalisé comme pour la méthode précédente.

Pour les intervalles de base où la valeur recalculée de  $C_0$  est satisfaisante, les contributions sonores des deux routes au point à double exposition sont ensuite estimées par les relations :

$$L_{Aeq1} = L_{Aeq,1,p} + 10 \cdot \log(d_{1,p}) - 10 \cdot \log(d_1) + 10 \cdot \log(C_1) \quad \dots (D.8)$$

$$L_{Aeq2} = 10 \cdot \log(Q_{eq2}) + 20 \cdot \log(V_2) - 10 \cdot \log(d_2) + 10 \cdot \log(C_2) \quad \dots (D.9)$$

## Bibliographie

- [1] Arrêté du 5 mai 1995 relatif à la limitation du bruit des infrastructures routières.
- [2] Circulaire du 12 décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national.
- [3] V Zouboff, Y Brunet, E Sechet et J Bertrand, *Validation d'une méthode qualitative d'estimation de l'influence de la météorologie sur le bruit* — Journal de Physique IV Colloque C5, supplément au Journal de Physique III, volume 4, mai 1994 — C5-813-816.
- [4] Guide du bruit des transports terrestres — Prévission des niveaux sonores — CETUR — 1980.
- [5] XP S 31-133, *Acoustique — Bruit des infrastructures de transports terrestres — Calcul de l'atténuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques* — AFNOR — Avril 2001.
- [6] NF S 31-088, *Acoustique — Mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire en vue de sa caractérisation* — AFNOR — Octobre 1996.
- [7] V Zouboff, JC Laporte, Y Brunet, *Effets des conditions météorologiques sur la propagation du bruit — Prise en compte pratique* — Techniques et méthodes des laboratoires des Ponts et Chaussées — Méthode d'essai n° 51 et Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées — n° 210, juillet-août 1997.
- [8] B Gauvreau et M Bérengier, *Influence des conditions micrométéorologiques sur la propagation acoustique* — Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées — n° 221, mai-juin 1999 et Thématique Acoustique, septembre 2001.