

Acoustique

## Méthodes de prévision du bruit des infrastructures de transports terrestres en milieu extérieur

### Typologie des méthodes de prévision

E : Acoustics — Acoustic methods for the outdoor estimation of the noise due to land transport infrastructures — Typology of the estimation methods  
D : Akustik — Methoden zur Schätzung der Geräusche der äußeren Landtransportinfrastrukturen — Typologie der Schätzungsmethoden

### Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 20 novembre 1997 pour prendre effet le 20 décembre 1997.

### 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 concerne les méthodes de prévision du bruit en milieu extérieur dû au trafic sur les infrastructures de transports terrestres.

Il s'adresse aux produits commercialisés et aux méthodes développées en interne dans les bureaux d'études et utilisées dans les études de bruit donnant lieu à une mise sur le marché de l'ingénierie.

Il définit des classes de méthodes à partir des fonctionnalités qu'elles présentent en ce qui concerne les éléments du site, les caractéristiques du trafic et les conditions de propagation.

### Descripteurs

**Thésaurus International Technique** : acoustique, bruit acoustique, bruit aérien, extérieur, transport terrestre, transport routier, transport par fer, circulation, propagation du son, définition, calcul, logiciel, classification.

### Modifications

### Corrections

Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), Tour Europe 92049 Paris La Défense Cedex  
Tél. : 01 42 91 55 55 — Tél. international : + 33 1 42 91 55 55



## Membres de la commission de normalisation

Président : M SOULAGE

Secrétariat : MME POTTEVIN — AFNOR

M	ABRAMOWITCH	OPEN ROME
MME	ANFOSSO	LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES
M	BAR	MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT — DION DES ROUTES
M	BEAUMONT	ENTPE
M	BENOIST	EUROPE ÉTUDES GECTI SA
M	BERENGIER	LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES
M	BESNARD	SETRA
M	CAMPAGNA	CAMPAGNA & IND
M	DELANNE	LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES
M	DESVIGNES	SNCF
M	DULAU	CETE DE L'EST
M	DURANG	LABORATOIRE REGIONAL DE L'EST PARISIEN
M	FODIMAN	SNCF
M	JACQUES	INRS
M	LEGRAND	UTAC
M	MERIEL	LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES
M	PARODI	01DB SA
M	RAPIN	CSTB
M	RUMEAU	LABORATOIRE CENTRAL DE LA PRÉFECTURE DE POLICE
M	SAUVAGE	CEBTP
M	SCHNEIDER	MFP MICHELIN
M	SOULAGE	CERTU
MLLE	SOULE	MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT — DPPR
M	WILD	BRUEL ET KJAER FRANCE
M	ZULIANI	BUREAU VÉRITAS

## Sommaire

	Page
<b>0</b>	<b>Introduction</b> ..... 4
<b>1</b>	<b>Domaine d'application</b> ..... 4
<b>2</b>	<b>Références normatives</b> ..... 5
<b>3</b>	<b>Définitions</b> ..... 5
<b>3.1</b>	Définitions routières ..... 5
<b>3.2</b>	Définitions ferroviaires ..... 6
<b>3.3</b>	Définitions acoustiques ..... 7
<b>4</b>	<b>Typologie des méthodes de prévision</b> ..... 9
<b>4.1</b>	Classes 1a et 1b ..... 10
<b>4.2</b>	Classe 2 ..... 11
<b>4.3</b>	Classe «3 et 3 plus» ..... 12
<b>5</b>	<b>Types d'études et domaines d'emploi</b> ..... 14
<b>Annexe A</b>	<b>(informative) Tableau récapitulatif de la classification des méthodes de prévision</b> ..... 16
<b>Annexe B</b>	<b>(informative) Types d'études et domaines d'emploi</b> ..... 19
<b>Annexe C</b>	<b>(informative) Bibliographie</b> ..... 22

## 0 Introduction

L'acuité croissante des problèmes de bruit dans l'environnement amène les acteurs à s'interroger sur la pertinence des outils de prévision du bruit des transports terrestres mis sur le marché et leur aptitude à résoudre, avec une précision suffisante, les problèmes pour lesquels ils peuvent être utilisés.

Pour cela, il est apparu nécessaire qu'une typologie de ces méthodes soit définie. Cette typologie doit permettre de classer les méthodes en fonction des données prises en compte et des modèles qui les constituent, de façon à pouvoir présumer de leur aptitude à répondre aux domaines d'emploi «annoncés» par leurs auteurs ou «attendus» par les utilisateurs. Ainsi le présent document permet de proposer aux maîtres d'ouvrage ou commanditaires d'études, les classes de méthodes de prévision les mieux appropriées à leurs besoins.

Cette norme s'inscrit dans la continuité de la norme XP S 31-131 qui décrit les informations minimales devant être fournies en accompagnement d'un logiciel de prévision du bruit des transports terrestres en milieu extérieur et qui introduit la notion de «dossier de présentation du logiciel» en normalisant la nature de ces informations et la forme sous laquelle elles doivent être présentées.

En effet, le repérage d'une méthode informatisée dans un classement contribue à accroître la transparence sur les logiciels associés.

## 1 Domaine d'application

Le présent document s'applique au domaine de la prévision du bruit en milieu extérieur dû au trafic sur les infrastructures de transports terrestres.

Il concerne les méthodes de prévision (méthodes manuelles, logiciels, maquettes,...) qui fournissent des niveaux acoustiques équivalents LAeq sur un intervalle de référence tel qu'il est défini dans la norme NF S 31-110.

Il s'adresse :

- aux produits commercialisés ;
- aux méthodes développées en interne dans les bureaux d'études et utilisées dans les études de bruit donnant lieu à une mise sur le marché de l'ingénierie.

Ce document définit des classes de méthodes à partir des fonctionnalités qu'elles présentent en ce qui concerne les éléments du site (bâti, topographie,...), les caractéristiques du trafic (débits, composition, vitesses,...) et les conditions de propagation (effets de sol, météorologie, obstacles,...).

En annexe informative, il est proposé en fonction des domaines d'emploi et types d'études, des classes de fonctionnalités minimales pouvant être requises dans les cahiers des charges des études.

Le présent document ne concerne pas la prévision du bruit :

- sur les sites industriels ;
- sur les lieux de travail ;
- à l'intérieur des locaux d'habitation ;
- dû aux transports aériens.

## 2 Références normatives

Ce 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.

- NF S 30-101 Vocabulaire de l'acoustique — Définitions générales.
- 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 — Élaboration des cartes et représentation graphique.
- XP S 31-131 Acoustique — Prévion du bruit des transports terrestres — Descriptif technique des logiciels.

## 3 Définitions

Les définitions et notations propres à l'acoustique utilisées dans le présent document sont conformes aux normes NF S 30-101, NF S 31-110 et NF S 31-130.

### 3.1 Définitions routières

#### 3.1.1 Plate-forme circulée

Partie de l'ouvrage routier située entre les bords extérieurs des voies de circulation extrêmes. Elle comprend la ou les chaussées et éventuellement le terre-plein central.

#### 3.1.2 Voie de circulation

Subdivision transversale de la chaussée ayant une largeur suffisante pour permettre la circulation d'une file de véhicules. Elle peut être délimitée par une signalisation horizontale sur la chaussée.

#### 3.1.3 Profil en long

Section d'une route par une surface verticale incluant l'axe de la chaussée. Pour un sens de circulation donné, le profil en long peut être décomposé comme suit :

- en palier, si la déclivité est inférieure ou égale à 2 % ;
- en montée (dite aussi rampe) ou en descente (dite aussi pente), selon le cas, si la déclivité est supérieure à 2 %.

#### 3.1.4 Profil en travers

Coupe d'une route et des abords immédiats par un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la chaussée. Le profil en travers représente les conditions de raccordement au terrain naturel d'une plate-forme donnée (déblai, remblai, mur de soutènement,...). Le profil en travers peut varier le long de l'axe en fonction de la topographie et du profil en long.

NOTE : Les projeteurs routiers ne considèrent, en général, sous le terme «profil en travers» que la plate-forme routière proprement dite, à l'exclusion de ses abords.

### 3.1.5 Types de véhicules

- véhicules légers (VL) : véhicules de poids total autorisé inférieur à 3,5 tonnes ;
- poids lourds (PL) : véhicules de poids total autorisé supérieur à 3,5 tonnes.

### 3.1.6 Types d'écoulement

- fluide : c'est un écoulement de véhicules tel que la vitesse globale moyenne du flot est sensiblement constante sur le tronçon de voie étudié, et le débit des véhicules est relativement stable dans le temps et dans l'espace.
- pulsé : il est caractérisé par une certaine turbulence. Un écoulement turbulent voit circuler une part importante de véhicules en allure transitoire : accélération ou décélération (carrefours, feux,...). Il n'est stable ni dans le temps (variation brusque des débits sur de courtes périodes de temps), ni dans l'espace (à un instant donné, concentration irrégulière des véhicules sur la section étudiée) . Conventionnellement, on admet d'apprécier une vitesse globale moyenne du flot de véhicules, considérée sur une période de temps suffisamment longue pour qu'elle soit stable et répétitive.
- pulsé accéléré : écoulement pulsé, donc turbulent, avec une proportion importante de véhicules en accélération, c'est-à-dire pour lequel la notion de vitesse n'a de sens que point par point, celle-ci n'étant pas stabilisée le long du parcours.

## 3.2 Définitions ferroviaires

### 3.2.1 Plate-forme circulée

Cette partie de l'ouvrage ferroviaire comprend entre ses bords extrêmes, la ou les voies de circulation avec leur armement (ballast, traverses et rails), les pistes latérales et l'emplacement d'éventuelles protections acoustiques.

NOTE : L'incidence acoustique de l'éventuel écran antibruit est intégrée dans la propagation et non dans l'évaluation de l'émission sonore.

### 3.2.2 Voie de circulation

Elle est constituée de deux files de rail reposant le plus couramment sur une couche de ballast par l'intermédiaire de traverses.

### 3.2.3 Profil en long

Section d'une plate-forme ferroviaire par une surface verticale incluant l'axe de la plate-forme.

### 3.2.4 Profil en travers

Coupe d'une plate-forme ferroviaire et de ses abords immédiats (déblai ou remblai,...) jusqu'au terrain naturel.

### 3.2.5 Type de train

Catégorie de matériel ferroviaire, par exemple :

- train de banlieue court ;
- train de voyageurs «grande ligne» classique ;
- train de voyageurs à grande vitesse (TGV) ;
- train de fret ;
- engin isolé (autorail, locomotive,...) ;
- métro, tramway, etc.

### 3.2.6 Circulation ferroviaire

Convoi constitué d'un type de matériel déterminé se déplaçant à une vitesse donnée sur une infrastructure ferroviaire en un emplacement donné.

NOTE : Cette notion regroupe deux informations : le type de matériel et la vitesse de circulation. Par exemple :

- train CORAIL à 160 km/h ;
- TGV-ATLANTIQUE à 300 km/h en unité simple ;
- train à fret à 100 km/h ;
- MI 79 en unité multiple (2 éléments) à 100 km/h.

### 3.2.7 Composition d'un train

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

- train CORAIL : une locomotive électrique et huit voitures CORAIL ;
- TGV-SE en unité multiple : deux rames TGV-SE sont accouplées ;
- train de fret : une locomotive diesel et trente wagons.

## 3.3 Définitions acoustiques

### 3.3.1 Types de méthodes de prévision

Les cinq principaux types de méthodes de prévision pouvant être utilisés sont les suivants :

#### 3.3.1.1 Méthode par abaques

Méthode permettant de déterminer par lecture directe les niveaux sonores à partir de courbes de tableaux.

#### 3.3.1.2 Méthode analytique

Méthode qui utilise une solution algébrique approchée du problème acoustique.

#### 3.3.1.3 Méthode géométrique

Méthode où le problème de propagation acoustique est traité par tracé de rayons acoustiques entre sources ponctuelles et points récepteurs.

Un rayon acoustique est une ligne en tout point normale aux surfaces d'ondes issues de la source.

#### 3.3.1.4 Méthode numérique

Méthode exacte basée sur la résolution numérique des équations de propagation.

#### 3.3.1.5 Méthode analogique

Résolution d'un problème acoustique à l'aide d'ondes répondant aux mêmes équations de propagation et de prise en compte des obstacles et frontières, et obéissant à une loi de similitude (maquettes).

NOTE : Il peut exister d'autres méthodes telles que les méthodes expérimentales issues de bases de données, des méthodes composées (numérique et analogique par exemple,...).

### 3.3.2 Type de traitements

#### 3.3.2.1 2 dimensions (2d)

Un traitement en deux dimensions consiste à assimiler l'infrastructure à un tronçon rectiligne unique de densité de puissance acoustique et de profil en travers constants. Le calcul de l'atténuation du son due à la propagation ne prend en considération les caractéristiques du site (topographie, nature du sol) que dans le plan vertical perpendiculaire à l'infrastructure et contenant le point récepteur.

#### 3.3.2.2 3 dimensions (3d)

Résolution complète du problème de propagation acoustique quelle que soit la forme des obstacles.

#### 3.3.2.3 Pseudo 3 dimensions (pseudo 3d ou 2d 1/2)

Traitement consistant à simplifier le problème de propagation en 3 dimensions par décomposition en problèmes élémentaires à 2 dimensions. L'infrastructure est décomposée en sources élémentaires. Les trajets de propagation entre chaque source élémentaire et le point récepteur considéré sont recherchés dans une projection sur un plan horizontal. Pour chaque trajet, le calcul de l'atténuation due à la propagation s'opère ensuite dans le ou les plans verticaux incluant le trajet de propagation.

### 3.3.3 Source équivalente

Source ou ensemble de sources acoustiques fictives, localisées en des emplacements particuliers, de niveau de puissance adapté, pour produire le même niveau acoustique en des points récepteurs qu'un ensemble de sources et obstacles réels plus complexes.

### 3.3.4 Spectre d'émission

Répartition relative du niveau de puissance acoustique de la source par octave ou tiers d'octave.

### 3.3.5 Tronçon acoustiquement homogène

Tronçon d'infrastructures routières ou ferroviaires où la densité de puissance acoustique peut être considérée comme constante et les conditions de propagation relativement équivalentes vis-à-vis d'un ou plusieurs récepteurs.

### 3.3.6 Site «rue en U»

On appelle «rue en U» l'ensemble constitué par une infrastructure de transport et des bâtiments disposés de part et d'autre de façon quasi continue et de hauteurs homogènes répondant aux critères ci-dessous :

- la hauteur moyenne des façades est supérieure à 5 m de chaque côté de l'infrastructure ;
- $l$  étant la largeur moyenne entre façades sur un tronçon et  $H$  la plus petite des deux hauteurs moyennes des bâtiments déterminée pour chaque côté de l'infrastructure,  $H/l$  doit être supérieur à 0,3. De chaque côté, la hauteur prise en compte correspond à la moyenne des hauteurs des différents bâtiments sur le tronçon considéré ;
- la longueur cumulée des discontinuités entre façades doit être inférieure ou égale à 20 % de la longueur totale du tronçon et les discontinuités doivent être réparties le long de ce dernier. Ce critère doit être vérifié de chaque côté de l'infrastructure.

NOTE : La notion de «rue en U» est justifiée par l'existence d'un champ acoustique spécifique du fait des réflexions multiples entre façades.

### 3.3.7 Site «tissu ouvert»

On appelle site «tissu ouvert» l'ensemble constitué par une infrastructure de transport et des espaces ou des bâtiments dont la configuration ne correspond pas à la définition de la «rue en U». C'est donc le cas des infrastructures :

- en zones non bâties ;
- en zones pavillonnaires ;
- bordées de bâtiments d'un seul côté ;
- bordées de bâtiments de part et d'autre et ne remplissant pas les conditions de la «rue en U».

NOTE : La notion de tissu ouvert définie ici n'est justifiée que par des contraintes acoustiques.

### 3.3.8 Absorption atmosphérique

Perte d'énergie qui s'exprime en dB/m pour une fréquence déterminée et qui correspond à une transformation de l'énergie acoustique en énergie calorifique.

### 3.3.9 Conditions d'atmosphère homogène

Conditions où la vitesse de propagation (ou célérité) des ondes acoustiques peut être considérée comme constante dans toutes les directions et en tout point de l'espace de propagation.

### 3.3.10 Conditions favorables à la propagation

Ensemble de conditions atmosphériques conduisant à des niveaux sonores au récepteur supérieurs à ceux observés en conditions d'atmosphère homogène pour une source sonore identique. Ces conditions correspondent à une vitesse de propagation (ou célérité) des ondes acoustiques croissante avec l'altitude.

### 3.3.11 Écran bas

Un écran bas est un obstacle dont la hauteur est inférieure à 2 m.

### 3.3.12 Point récepteur

Point quelconque de l'espace où l'on détermine, sur un intervalle de référence, le niveau acoustique équivalent LAeq engendré par une ou plusieurs sources sonores.

## 4 Typologie des méthodes de prévision

Les méthodes de prévision du bruit des infrastructures routières et ferroviaires sont présentées ci-après, par classes ordonnancées de la plus simple (classe 1a) à la plus complexe (classe 3 plus). Cette complexité concerne le contenu scientifique, le volume et le détail des données d'entrée ainsi que le domaine d'emploi de la méthode.

L'appartenance à une classe de rang donné implique également l'appartenance aux classes de rang inférieur.

Cet article décrit les fonctionnalités minimales requises pour chaque classe selon le canevas suivant : type de méthodes, calculs en fréquences, émission, propagation (obstacles, sol, air, conditions météorologiques), résultats et exploitation.

L'appartenance à une classe nécessite le respect de l'ensemble des fonctionnalités attachées à cette classe.

L'annexe A présente le tableau récapitulatif décrivant les fonctionnalités minimales requises pour chacune des classes 1a et 1b, 2, 3 et 3+.

## 4.1 Classes 1a et 1b

La classe 1 se décompose en deux classes 1a et 1b. La classe 1a concerne uniquement les méthodes dont l'objectif est de qualifier l'émission acoustique d'une infrastructure routière ou ferroviaire (par exemple : classement des infrastructures de transports terrestres). La classe 1b intègre en plus, et dans une certaine mesure, la prise en compte de la propagation.

### 4.1.1 Types de méthode et de traitement

Il n'est demandé aucune spécification particulière quant aux types de méthode de prévision.

En général, les méthodes de classes 1a ou 1b sont de type analytique ou par abaque.

La méthode utilisée doit permettre de traiter le problème acoustique en deux dimensions dans un plan perpendiculaire à l'infrastructure passant par le récepteur.

### 4.1.2 Calculs en fréquence

Il n'est demandé aucune spécification particulière.

### 4.1.3 Émission

La source est assimilée à un tronçon unique acoustiquement homogène. La largeur de la plate-forme circulée doit être prise en compte et la hauteur de la source précisée.

#### 4.1.3.1 Infrastructures routières

Les valeurs d'émission retenues doivent faire l'objet d'une reconnaissance du milieu scientifique.

Cette émission doit être définie en termes de niveau de puissance acoustique en dB(A) ou de niveau de densité de puissance acoustique en dB(A) par mètre, à partir d'un spectre d'émission unique en tenant compte de la nature du trafic (VL et PL), de la vitesse du flot de véhicules avec un seuil minimal de 20 km/h, du type d'écoulement décomposé, au moins, en fluide et pulsé ainsi que du profil en long subdivisé en termes de montée, descente et palier.

#### 4.1.3.2 Infrastructures ferroviaires

Les valeurs d'émission retenues doivent faire l'objet d'une reconnaissance du milieu scientifique.

L'émission sonore est définie en termes de niveau de puissance acoustique en dB(A) ou de niveau de densité de puissance acoustique en dB(A) par mètre, à partir du spectre d'émission de la circulation en tenant compte de sa vitesse de circulation avec un seuil minimal de 40 km/h.

### 4.1.4 Propagation (ce paragraphe ne concerne que la classe 1b)

Le point récepteur est supposé être en vue directe, même partielle, de la source. La propagation ne prend en compte que la divergence géométrique, et la méthode doit pouvoir distinguer les deux cas : «rue en U» et «tissu ouvert».

La méthode doit pouvoir traiter le cas d'un sol plan et parfaitement réfléchissant entre la route et le récepteur.

Le plan de la chaussée est confondu avec celui du sol.

Pour cette classe, seules les conditions d'atmosphère homogène sont demandées.

### 4.1.5 Résultats — Exploitation

La méthode doit déterminer le niveau acoustique équivalent LAeq sur l'intervalle de référence et pouvoir traiter les points récepteurs situés en façade des bâtiments.

## 4.2 Classe 2

### 4.2.1 Type de méthode et de traitement

Il n'est demandé aucune spécification particulière quant aux types de méthode de prévision. En général, les méthodes de classes 2 sont de type analytique, par abaque ou géométrique. La méthode utilisée doit permettre de traiter le problème acoustique en pseudo 3d (2d 1/2).

### 4.2.2 Calculs en fréquences

Il n'est demandé aucune spécification particulière. Les calculs sont faits en dB(A) à partir d'un spectre d'émission.

### 4.2.3 Émission

La source est décomposée en tronçon acoustiquement homogène. La largeur de la plate-forme circulée doit être prise en compte et la hauteur de la source précisée.

#### 4.2.3.1 Infrastructures routières

Les valeurs d'émission retenues doivent faire l'objet d'une reconnaissance du milieu scientifique.

Cette émission doit être définie en termes de niveau de puissance acoustique en dB(A) ou de niveau de densité de puissance acoustique en dB(A) par mètre, à partir d'un spectre d'émission unique en tenant compte de la nature du trafic (VL et PL), de la vitesse de la catégorie de véhicules (VL et PL) en partant de la valeur minimale de 20 km/h, du type d'écoulement décomposé, au moins, en fluide, pulsé accéléré et pulsé ainsi que du profil en long subdivisé en termes de montée, descente et palier. Pour la nature du revêtement de la chaussée, il est demandé que la méthode permette l'introduction d'une correction forfaitaire globale en dB(A) par classes de vitesses.

#### 4.2.3.2 Infrastructures ferroviaires

Les valeurs d'émission retenues doivent faire l'objet d'une reconnaissance du milieu scientifique.

L'émission sonore est définie en termes de niveau de puissance acoustique en dB(A) ou de niveau de densité de puissance acoustique en dB(A) par mètre, à partir du spectre d'émission de cette circulation en tenant compte de sa vitesse de circulation avec un seuil minimal de 40 km/h.

### 4.2.4 Propagation

Dans tous les cas, la divergence géométrique est intégrée.

Le sol situé entre la route et le point récepteur est assimilé à un plan soit horizontal, soit incliné. Il doit pouvoir être décomposé, au minimum, en deux classes (absorbant ou réfléchissant). Le calcul doit tenir compte de la distance du point récepteur à la source, de la hauteur de ce point récepteur et de la présence éventuelle d'obstacles diffractants.

Pour la présence éventuelle d'obstacles, la méthode doit pouvoir traiter les cas suivants :

- la diffraction simple sur arête horizontale ;
- les diffractions multiples horizontales pour les obstacles épais comme les bâtiments, buttes de terre, ou pour plusieurs obstacles minces successifs ;
- la réflexion sur les obstacles verticaux avec, au minimum, une réflexion d'ordre 1, et en prenant en compte leur qualité d'absorption acoustique globale ;
- la prise en compte du profil en travers doit comporter, au minimum, deux classes pour les remblais et les déblais, définies selon leurs hauteurs ou profondeurs. Les parois des déblais sont verticales ou inclinées, réfléchissantes ou absorbantes. Les trémies à parois verticales absorbantes ou réfléchissantes doivent pouvoir également être traitées.

L'atténuation atmosphérique est incorporée avec, au minimum, un terme correctif en dB(A).

Les conditions d'atmosphère homogène sont, au moins, demandées pour cette classe.

#### 4.2.5 Résultats — Exploitation

La méthode doit déterminer le niveau acoustique équivalent LAeq sur l'intervalle de référence par cumul des diverses contributions de chaque tronçon acoustiquement homogène utilisé à l'émission. Les points récepteurs en façade des bâtiments doivent pouvoir être traités.

### 4.3 Classe «3 et 3 plus»

À la classe 3 est associée une classe supérieure dite «3 plus».

NOTE : À la date de publication du présent document, il n'existe pas de méthodes permettant de répondre à l'ensemble des fonctionnalités décrites pour la classe «3 plus». Il a été cependant jugé utile d'afficher ces fonctionnalités.

#### 4.3.1 Types de méthode et de traitement

Les méthodes par abaque ne peuvent appartenir aux classes 3 et 3+.

La méthode utilisée doit permettre de traiter le problème acoustique en 3 dimensions ou pseudo 3 dimensions (2d 1/2).

En général, les méthodes de classes 3 et 3+ sont de type géométrique numérique ou analogique.

Les méthodes analogiques ne traitent pas les conditions favorables à la propagation. On admet toutefois de classer ces méthodes en classes 3 ou 3+ pour le seul traitement en condition d'atmosphère homogène sous réserve de respecter l'ensemble des autres fonctionnalités minimales requises.

#### 4.3.2 Calculs en fréquence

La méthode utilisée doit permettre de traiter le problème acoustique en 3 dimensions ou pseudo 3 dimensions (2d 1/2).

Toutes les étapes du calcul doivent être réalisées en fréquences soit par bande d'octave, soit par bande de tiers d'octave. Dans le cas des bandes d'octave, l'étendue minimale doit couvrir l'ensemble des octaves dont les fréquences centrales sont comprises entre 125 Hz et 4 000 Hz. Pour les bandes de tiers d'octave, cette étendue va des fréquences centrales 100 Hz à 5 000 Hz.

#### 4.3.3 Émission

En section courante, on doit pouvoir procéder à la modélisation, à pas quelconque, de la source pour chaque voie de circulation de l'infrastructure avec la possibilité d'y affecter des valeurs d'émission différentes. Les couvertures et tunnels doivent être pris en compte par une méthode spécifique.

La hauteur de la source doit être précisée.

##### 4.3.3.1 Classe «3»

###### 4.3.3.1.1 Infrastructures routières

Les valeurs d'émission retenues doivent faire l'objet d'une reconnaissance du milieu scientifique.

Cette émission doit être définie en termes de niveau de puissance acoustique en dB(A) ou de niveau de densité de puissance acoustique en dB(A) par mètre, à partir d'un spectre d'émission unique en tenant compte de la nature du trafic (VL ou PL), de la vitesse de la catégorie de véhicules (VL et PL) en partant de la valeur minimale de 20 km/h, de type d'écoulement décomposé, au moins en fluide, pulsé accéléré et pulsé ainsi que du profil en long subdivisé en termes de montée ; descente, et palier. Pour la nature de revêtement de la chaussée, il est demandé que la méthode permette l'introduction d'une correction forfaitaire en termes de niveau de puissance acoustique par bande de fréquences retenues et par vitesses sur l'émission du flot des véhicules.

#### 4.3.3.1.2 *Infrastructures ferroviaires*

Les valeurs d'émission retenues doivent faire l'objet d'une reconnaissance du milieu scientifique.

L'émission sonore est définie en termes de niveau de puissance acoustique en dB(A) ou de niveau de densité de puissance acoustique en dB(A) par mètre, par bande de fréquences d'octave ou de tiers d'octave, à partir d'un spectre d'émission de la circulation considérée, en tenant compte de sa vitesse de circulation avec un seuil minimal de 40 km/h.

#### 4.3.3.2 *Classe «3 plus»*

##### 4.3.3.2.1 *Infrastructures routières*

Pour les infrastructures routières, il est demandé de compléter les exigences de l'article 4.3.3.1.1 par les spécifications suivantes.

Il doit être retenu par voie de circulation, soit une hauteur de source et un spectre différent par catégorie de véhicules (VL et PL), soit une hauteur et un spectre équivalent tenant compte de la composition du trafic. Cette hauteur varie en fonction de la vitesse.

Le profil en long est subdivisé par plage de 2 % maximum et ce jusqu'au minimum 6 %.

Pour la nature du revêtement de la chaussée, la correction forfaitaire en termes de niveau de puissance acoustique par bande de fréquences, par vitesse et par catégorie de véhicules VL et PL doit être faite.

L'interférence entre les carrosseries et les parois proches de la chaussée (murs de soutènement, écrans acoustiques,...) doit être prise en compte.

##### 4.3.3.2.2 *Infrastructures ferroviaires*

Pour les infrastructures ferroviaires, il est demandé de compléter les exigences de l'article 4.3.3.1.2. L'interférence entre les carrosseries et la paroi proche de la voie de circulation (mur de soutènement, écran anti-bruit) doit être prise en compte.

Il doit être retenu, par voie de circulation, une hauteur de source et un spectre spécifique d'émission par type de train pour sa vitesse d'exploitation.

#### 4.3.4 *Propagation*

##### 4.3.4.1 *Classe «3»*

Dans tous les cas, la divergence géométrique est prise en compte.

En ce qui concerne la prise en compte du sol, la méthode considère :

- soit que le sol est homogène : la méthode propose alors au minimum 3 classes de sol allant de très réfléchissant à absorbant ;
- soit que le sol est hétérogène : dans ce cas, 2 types de nature de sol minimum sont pris en compte dans l'évaluation de l'effet de sol.

Les méthodes géométriques doivent permettre de prendre en compte des réflexions à l'ordre 6 au minimum. L'ordre de réflexion sur les obstacles doit pouvoir varier dans des proportions compatibles avec la précision recherchée.

En présence d'obstacles, la méthode doit traiter les cas suivants :

- la diffraction simple sur arête horizontale ;
- les diffractions multiples horizontales pour les obstacles épais comme les bâtiments, buttes de terre, ou pour plusieurs obstacles minces successifs ;
- la réflexion sur les obstacles verticaux avec prise en compte de l'absorption acoustique en fonction de la bande de fréquences. Ces obstacles verticaux peuvent être hétérogènes dans le sens de la hauteur avec des absorptions différentes.

Les tunnels, couvertures, couvertures partielles ainsi que l'absorption acoustique de leurs parois doivent pouvoir être pris en compte, dans le cas où leur géométrie est simple.

L'absorption atmosphérique est prise en compte par bande de fréquences.

Les conditions météorologiques retenues sont, au minimum, celles correspondant aux conditions d'atmosphère homogène et aux conditions favorables à la propagation (excepté pour les méthodes analogiques pour lesquelles seules les conditions d'atmosphère homogène sont demandées).

#### 4.3.4.2 *Classe «3 plus»*

Il est demandé de compléter les exigences de l'article 4.3.4.1 par les spécifications suivantes.

La méthode doit tenir compte de sols de nature différente en propagation et traiter la diffraction par discontinuité topographique du sol.

La méthode doit traiter les écrans bas, les écrans inclinés quelles que soient l'inclinaison et la diffraction sur les arêtes verticales.

Pour les tunnels, couvertures, couvertures partielles, les détails architecturaux et la géométrie précise de ces ouvrages doivent être pris en compte.

#### 4.3.5 **Résultats — Exploitation**

La méthode doit permettre de déterminer le niveau acoustique équivalent LAeq sur l'intervalle de référence pour des conditions d'atmosphère homogène et pour des conditions favorables à la propagation, ainsi que le niveau LAeq, LT.

Elle doit définir la contribution de chaque source élémentaire ou de chaque tronçon acoustiquement homogène, au niveau acoustique équivalent calculé au point récepteur, en détaillant chaque voie de circulation.

Pour les méthodes géométriques, la contribution de chacun des trajets doit être définie ainsi que le détail des différentes atténuations pour chaque trajet analysé.

## 5 **Types d'études et domaines d'emploi**

Le choix de la méthode de prévision à utiliser pour une étude de bruit particulière dépend de nombreux facteurs :

- la nature de l'étude envisagée (planification urbaine, infrastructure nouvelle, infrastructure existante,...) ;
- la taille de la source de bruit considérée (un tracé, le réseau d'une agglomération entière,...) ;
- pour un projet, le degré de connaissance de ses caractéristiques définitives ;
- la largeur de la zone d'étude de part et d'autre des infrastructures (fonction en général du niveau d'émission) ;
- la complexité du site (topographie, bâti,...) ;
- le niveau de précision requis pour les évaluations des niveaux sonores (généralement fonction du contexte de l'étude).

NOTE : La notion de précision est employée ici dans le sens que lui donne la norme XP S 31-131 : pour une situation donnée (source, site, récepteur, conditions de propagation, conditions météorologiques), c'est la valeur au-dessous de laquelle se situe, avec une probabilité donnée, la différence entre le niveau de pression acoustique calculé et le niveau de pression acoustique réel. Dans cette acception, une précision en décibels doit donc toujours être associée à un type de situation (plus ou moins complexe pour le calcul) et à une valeur de probabilité. De même, la notion de domaine de validité (type de site et distance à la source) n'a de sens que si elle est associée à une précision (voir la norme XP S 31-131 — article 5).

En fonction des facteurs énumérés précédemment, telle ou telle méthode est plus ou moins bien adaptée à l'étude envisagée.

Afin de guider le choix d'un maître d'ouvrage ou d'un commanditaire d'étude, le présent document propose à titre informatif, en annexe B, les classes minimales pouvant être requises dans les cahiers des charges selon le type d'étude envisagé, l'objet concerné et les caractéristiques du site. Pour que les résultats puissent être fiables au regard du niveau de précision usuellement recherché dans le type d'étude envisagé, la méthode utilisée doit être au moins de classe définie en annexe B.

Le respect de cette classe minimale ne préjuge pas à lui seul de la qualité des résultats, puisque celle-ci dépend également de la fiabilité des hypothèses, de la qualité technique de la méthode et de sa bonne utilisation conformément aux spécifications de ses auteurs et aux règles de l'art. Cependant, si ces trois conditions sont respectées (notamment en ce qui concerne la qualité technique, par une démarche de validation telle que décrite à l'article 5 de la norme XP S 31-131), la fiabilité des résultats sera assurée.

Les classes indiquées en annexe B sont des classes minimales, c'est-à-dire qu'il est toujours possible d'utiliser une méthode de classe supérieure à celle conseillée. On note simplement que la mise en œuvre d'une méthode de classe supérieure est souvent plus lourde, et qu'elle ne conduit pas forcément à une meilleure précision. Il s'agit donc pour le maître d'ouvrage ou le commanditaire d'études de choisir la meilleure adéquation entre ses besoins et les moyens mis en œuvre.

**Annexe A**

(informative)

**Tableau récapitulatif de la classification des méthodes de prévision**

Ce tableau permet de déterminer les fonctionnalités minimales réclamées par classes. Pour définir l'appartenance à l'une des classes, on doit répondre à l'ensemble des fonctionnalités identifiées par un (x) dans la colonne correspondante à la classe.

**Tableau A.1**

Fonctionnalités minimales requises	Classes				
	1a	1b	2	3	3+
<b>a) Type de traitement</b>					
2d dans le plan perpendiculaire à l'infrastructure .....	x	x			
3d ou pseudo 3d (2d 1/2) .....			x	x	x
<b>b) Calculs en fréquences</b>					
Aucune spécification particulière .....	x	x	x		
Toutes les étapes de calcul en fréquence (octaves 125 — 4 000 Hz ou tiers d'octave 100 — 5 000 Hz) .....				x	x
<b>c) Émissions</b>					
<b>1 Trafic routier</b>					
<b>1.1 Différenciation VL/PL</b> .....	x	x	x	x	x
Vitesse du flot .....	x	x			
Vitesse par catégorie de véhicule .....			x	x	x
Émission en valeur globale avec spectre unique .....	x	x	x		
Émission par bande de fréquences (octave ou tiers d'octave) .....				x	x
<b>1.2 Type d'écoulement fluide et pulsé</b> .....	x	x			
Type d'écoulement fluide, pulsé accéléré et pulsé .....			x	x	x
<b>1.3 Profil en long montée, descente, palier</b> .....	x	x	x	x	
Par plage de 2 % jusqu'au moins 6 % .....					x
<b>1.4 Revêtement de chaussée : pas de spécification</b> .....	x	x			
Correction globale en dB(A) par classe de vitesse .....			x		
Correction par bande de fréquences en fonction de la vitesse .....				x	
Correction par bande de fréquences en fonction de la vitesse et de la catégorie du véhicule .....					x

(à suivre)

Tableau A.1 (suite)

Fonctionnalités minimales requises	Classes				
	1a	1b	2	3	3+
<b>2 Trafic ferroviaire</b>					
Composition du trafic .....	x	x	x	x	x
Vitesse par catégorie de circulation ferroviaire .....	x	x	x	x	x
Émission en valeur globale en dB(A) avec spectre d'émission par type de matériel .....	x	x	x		
Émission par bande de fréquences (octave ou tiers d'octave) .....				x	x
<b>3 Géométrie de l'émission</b>					
Source assimilée à un tronçon unique acoustiquement homogène .....	x	x			
Décomposition de la source en tronçons homogènes .....			x		
Décomposition de chaque voie par pas quelconque .....				x	x
Prise en compte de la largeur de la plate-forme .....	x	x	x	x	x
La hauteur de source est précisée .....	x	x	x	x	
Hauteur de source fonction de la catégorie de véhicule et de la vitesse .....					x
Prise en compte spécifique des couvertures et tunnels .....				x	x
Interférence entre carrosseries et parois proches .....					x
<b>d) Propagation</b>					
<b>1 Obstacles</b>					
Récepteur supposé être en vue directe de la source .....		x			
Divergences géométriques .....		x	x	x	x
Réflexion sur les obstacles verticaux — ordre minimum = .....			1	6	6
Obstacles verticaux : prise en compte de l'absorption en global .....			x		
Obstacles verticaux : prise en compte de l'absorption par bande de fréquences .....				x	x
Parois verticales hétérogènes dans le sens de la hauteur .....				x	x
Écrans bas .....					x
Écrans quelle que soit l'inclinaison .....					x
Diffraction simple sur arête horizontale .....			x	x	x
Diffractions multiples horizontales sur les écrans épais (bâtiments, buttes de terre,...) .....			x	x	x
Diffractions verticales .....					x
Prise en compte des rues en U, formule spécifique ou non .....		x			
Trémies et tranchées à parois verticales absorbantes ou réfléchissantes .....			x		

(à suivre)

Tableau A.1 (fin)

Fonctionnalités minimales requises	Classes				
	1a	1b	2	3	3+
<b>2 Sol</b>					
Plan parfaitement réfléchissant .....		x			
Plan horizontal ou incliné .....			x		
Prise en compte de la topographie .....				x	x
Type de sol : nombre minimum de classes = .....			2	2 ou 3	3
Prise en compte pour le calcul de l'effet de sol, des diffractions éventuelles .....			x	x	x
Sol homogène le long du trajet de propagation .....		x	x	x	
Tunnels, couvertures, semi-couvertures avec absorption des parois .....				x	x
Sol hétérogène le long du trajet de propagation .....					x
Profil en travers (minimum 2 classes pour déblais et remblais) .....			x		
Déblais : parois verticales et inclinées, réfléchissantes et absorbantes .....			x		
Traitement des arêtes diffractantes du sol .....					x
<b>3 Absorption atmosphérique</b>					
Pas de spécification .....		x			
Terme correctif global en dB(A) .....			x		
Par bande de fréquences .....				x	x
<b>4 Conditions météorologiques</b>					
Atmosphère homogène .....		x	x	x	x
Conditions favorables à la propagation .....				x	x
<b>e) Résultats — Exploitation</b>					
Calcul du LAeq sur l'intervalle de référence dans les conditions d'atmosphère homogène .....	x	x	x	x	x
Calcul du LAeqLT (de long terme) sur l'intervalle de référence pour conditions météorologiques du site .....				x	x
Contribution de chaque tronçon ou source élémentaire .....			x	x	x
Contribution de chacun des trajets et détail des atténuations (méthode géométrique) .....				x	x
Réception en façade du bâtiment .....	x	x	x	x	x

## Annexe B

(informative)

### Types d'études et domaines d'emploi

Le tableau ci-dessous propose les classes minimales devant être requises dans les cahiers des charges selon le type d'études envisagé.

Il est à noter que le domaine d'emploi des méthodes concerne des études de l'impact du bruit des infrastructures de transports terrestres sur une zone de dimensions minimales (par exemple, il ne s'agit pas d'étude de détail concernant la forme des arêtes d'écrans).

Lorsqu'une case de la colonne «domaine d'emploi» comporte plusieurs conditions, l'ensemble de ces conditions doit être respecté.

Tableau B.1

Type d'études	Domaine d'emploi	Classe minimale recommandée
<b>I — Planification de l'utilisation des sols</b>		
I.1 — élaboration des schémas directeurs (SD) — dossiers de voirie d'agglomération (DVA) — plans de déplacements urbains (PDU)	pour tous types d'infrastructures de transports terrestres existantes ou projetées, d'urbanisation, de topographie	1a
I.2 — plans d'occupation des sols (POS) — aide à l'élaboration	pour tous types d'infrastructures de transports terrestres existantes ou projetées, d'urbanisation, de topographie	1b
I.3 — zones d'aménagement concerté (ZAC)	— tous types d'infrastructures de transports terrestres existantes ou projetées — vue directe de la source à partir du récepteur et site relativement plan — distance «source-récepteur» < 100 m	1b
	— autres cas	2
I.4 — plan d'aménagement de zones (PAZ) — études d'impact de lotissements	— tous types d'infrastructures, d'urbanisation et de topographie	2
I.5 — optimisation d'un plan masse (aménagement de zone, lotissements,...)	— tous types d'infrastructures — tous types de site (bâti et topographie)	3
<b>II — Classement des infrastructures de transports terrestres</b>		
(carte d'émission décret du 95-01-09 arrêté du 96-05-30)	— tous types d'infrastructures et sites	1a

(à suivre)

Tableau B.1 (suite)

Type d'études	Domaine d'emploi	Classe minimale recommandée
<b>III — Aide à l'élaboration des plans de déplacements urbains ou des plans de circulation</b>		
I.1 — étude des réseaux routiers — prise en compte de l'émission	— tous types d'axes routiers existants ou projetés et sites	1a
III.2 — interface des réseaux routiers et urbanisation — prise en compte conventionnelle de la propagation	— tous types d'axes routiers existants ou projetés — récepteur en vue directe — distance «source-récepteur» < 100 m si sol absorbant — site relativement plan — bâti peu dense	1b
	— autres cas	2
<b>IV — Projets routiers</b>		
IV.1 — études des variantes de types de routes et de tracés de l'avant-projet sommaire d'itinéraire (A.P.S.I.)	— tous types d'axes routiers et sites	1b
IV.2 — études préliminaires d'opération	— autoroute interurbaine nouvelle (étude d'une bande de 1 km) — tous types de sites sauf «points durs»	1b
	— tous les autres types de routes nouvelles ou élargissement sans modifications sensibles du profil en travers — relief peu marqué avec densité bâti faible — distance «source-récepteur» < 100 m si sol absorbant	1b
	— autres cas sauf «points durs»	2
	— site ponctuel sensible où le tracé est très contraint («point dur»)	3
IV.3 — avant-projet sommaire (APS)	— voirie urbaine — tissu fermé : rue en U — absence de carrefours à feux à moins de 50 m — récepteur en façade sur la rue en U	1b
	— voirie urbaine — tissu fermé : rue en U — présence de carrefours à feux à moins de 100 m — récepteur en façade sur la rue en U	2
	— autoroute interurbaine nouvelle (étude d'une bande de 300 m) — tous types de site sauf «points durs»	2
	— tous les autres types de routes nouvelles ou élargissement de voies en tissu ouvert — site avec topographie peu marquée ou bâti peu dense avec un profil en travers constant — vue directe ou présence d'écran simple — distance «source-récepteur» < 250 m	2
	— autres cas	3

(à suivre)

Tableau B.1 (suite)

Type d'études	Domaine d'emploi	Classe minimale recommandée	
<b>V — Projets ferroviaires</b>			
V.1 — études préliminaires	— modification d'une ligne existante — création d'une ligne nouvelle — relief peu marqué, bâti peu dense — distance < 100 m si sol absorbant	1b	
	— autres cas sauf points durs	2	
	— points durs (sites ponctuels sensibles)	3	
	V.2 — avant-projet sommaire (APS)	— modification d'une ligne existante — création d'une ligne nouvelle — relief peu marqué, bâti peu dense — vue directe ou présence d'écran simple — profil en travers constant	2
		— autres cas	3
V.3 — avant-projet détaillé	— modification ou transformation significative d'une ligne existante — création d'une ligne nouvelle	3	
<b>VI — Études de projet ou de situation existante : dimensionnement des protections acoustiques</b>			
VI.1 — isolement acoustique des façades	— voirie urbaine — tissu fermé : rue en U — absence de carrefours à feux à moins de 75 m — récepteur en façade sur la rue en U	1b	
	— voirie urbaine — tissu fermé : rue en U — présence de carrefours à feux à moins de 75 m — récepteur en façade sur la rue en U	2	
	— faible enjeu économique — site simple (bâti peu dense, relief peu marqué,...) — tous types de routes et voies ferroviaires	2	
	— autres cas	3	
	VI.2 — optimisation des ouvrages de protections acoustiques	— tous types de routes et voies ferroviaires et de sites	3

**Annexe C**

(informative)

**Bibliographie**

- [1] Guide du bruit des transports terrestres — Préviation des niveaux sonores — Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie — Ministère des Transports — CETUR — Novembre 1980.
- [2] Bruit des infrastructures routières — Méthode de calculs incluant les effets météorologiques (version expérimentale) — CERTU, CSTB, LCPC, SETRA — 1997.
- [3] Dictionnaire de données routières — SETRA — (à paraître).
- [4] Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison (ICTAAL) — Direction des Routes — 1985.
- [5] NF P 99-000 — Régulation du trafic routier — Feux de circulation — Terminologie — Décembre 1991.



