

Modèle de calcul du bruit routier sonROAD18

Traitement des données d'entrée et calcul de la propagation



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Modèle de calcul du bruit routier sonROAD18

Traitement des données d'entrée et calcul de la propagation

Impressum

Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Auteur

Michael Gerber, OFEV, division Bruit et RNI

Accompagnement OFEV

Urs Walker, OFEV, chef de la division Bruit et RNI

Sophie Hoehn, OFEV, cheffe de la section Bruit routier

Judith Schäli, OFEV, Service juridique 2

Groupe d'accompagnement

Urs Walker, OFEV, division Bruit et RNI, présidence

Dario Bozzolo, IFEC, IFEC ingegneria SA.

Hans-Peter Gloor, canton d'Argovie, Departement Bau, Verkehr und Umwelt

Dominique Luy, canton de Vaud, Direction générale de l'environnement (jusqu'à fin 2018)

Bernard Gigon, canton de Vaud, Direction générale de l'environnement (à partir de début 2019)

Yves Pillonel, OFROU, Standards et sécurité de l'infrastructure (jusqu'à fin 2017)

Kirk Ingold, OFROU, Standards et sécurité de l'infrastructure (à partir de début 2018)

Stefanie Rüttener, ville de Zurich, Umwelt- und Gesundheits-schutz Zürich (UGZ)

Marco Steiger, canton du Tessin, Dipartimento del territorio

Georg Thomann, canton des Grisons, Amt für Natur und Umwelt

Kurt Heutschi, Empa, div. Acoustique/Contrôle du bruit

Sophie Hoehn, OFEV, division Bruit et RNI

Andreas Catillaz, OFEV, division Bruit et RNI

Référence bibliographique

OFEV (éd.) 2021 : Modèle de calcul du bruit routier sonROAD18.

Traitement des données d'entrée et calcul de la propagation.

Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissances de l'environnement n° 2127 : 30 p.

Traduction

Service linguistique de l'OFEV

Mise en page

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Photo de couverture

Fribourg – vue aérienne

© iStock, AsianDream

Téléchargement au format PDF

www.bafu.admin.ch/uw-2127-f

Il n'est pas possible de commander une version imprimée.

Cette publication est également disponible en allemand et en italien. La langue originale est l'allemand.

© OFEV 2021

Table des matières

Abstracts	5	Annexe 1 Schéma des catégories de véhicules SWISS10	26
Préface	6	Annexe 2 Niveau d'émission moyen	27
1 Introduction	7	Annexe 3 Corrections spectrales standard du revêtement pour une vitesse de 50 km/h	28
1.1 Objectifs	7		
1.2 Les principales caractéristiques de sonROAD18	8		
1.3 Comparaison des modèles anciens et actuels	8	Annexe 4 Corrections spectrales standard du revêtement pour une vitesse de 80 km/h	29
1.4 Valeurs calculées	9		
1.5 Suppléments et calibrages du modèle	9		
2 Données d'entrée requises	10	Annexe 5 Affectation du facteur de sol G à la couverture du sol	30
2.1 Vue d'ensemble des données d'entrée requises	10		
2.2 Volume/composition du trafic	11		
2.2.1 Catégories de véhicules SWISS10+	11		
2.2.2 Convertisseur SWISS10	12		
2.3 Vitesses	15		
2.4 Qualités acoustiques du revêtement	16		
2.4.1 Revêtement de référence	16		
2.4.2 Prise en considération des qualités acoustiques du revêtement	16		
2.4.3 Intégration des qualités acoustiques du revêtement au moyen de mesurages	16		
2.4.4 Intégration au moyen de valeurs KB	17		
2.4.5 Sensibilité des qualités acoustiques du revêtement	18		
2.4.6 Éléments importants concernant les qualités acoustiques du revêtement	18		
2.5 Inclinaison de la route/voies de circulation	19		
2.6 Température de l'air	19		
3 Calcul de la propagation	21		
3.1 Modèle	21		
3.2 Paramètres de calcul	21		
3.3 Effets météorologiques	22		
4 Implémentations	23		
5 Bibliographie	24		

Abstracts

The sonROAD18 model to determine road traffic noise is described in detail in the Empa report *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm* [1] (sonROAD18 – model for determining road traffic noise; available in German). SonROAD18 is purely an emissions model. This publication supplements the description of the model. It explains how the emissions model can be used and gives advice on how to prepare input data. Finally, parameters are suggested for determining sound propagation.

Le modèle de calcul des émissions du bruit routier sonROAD18 est présenté de manière détaillée dans le rapport de l'Empa *Modèle de calcul du bruit routier* [1]. sonROAD18 est un modèle d'émission pur. La présente publication a pour but de compléter son descriptif. Elle explique comment utiliser le modèle et fournit des indications sur le traitement des données d'entrée. Des paramètres pour le calcul de la propagation sont également proposés à la fin du document.

Das Modell zur Berechnung von Strassenlärm-Emissionen sonROAD18 wird im Empa-Bericht *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm* [1] detailliert beschrieben. SonROAD18 ist ein reines Emissionsmodell. Die vorliegende Publikation ergänzt den Modellbescrieb. Sie erläutert, wie das Emissionsmodell eingesetzt werden kann und gibt Hinweise für die Aufbereitung der Eingabedaten. Schliesslich werden Berechnungseinstellungen für die Ausbreitungsrechnung vorgeschlagen.

Il modello di calcolo per le emissioni del rumore stradale sonROAD18 è descritto in dettaglio nel rapporto Empa *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm* [1]. sonROAD18 è un semplice modello di emissione, mentre la presente pubblicazione completa la descrizione di tale modello, spiegando come può essere impiegato e fornendo indicazioni su come elaborare i dati di input. Infine, vengono proposte impostazioni di calcolo per il calcolo della propagazione.

Keywords:

determination of road traffic noise, noise prediction, emissions model, SWISS10

Mots-clés :

calcul du bruit routier, prévisions du bruit, modèle d'émission, SWISS10

Stichwörter:

Strassenlärm-berechnung, Lärmprognose, Emissionsmodell, SWISS10

Parole chiave:

calcolo del rumore stradale, legge sull'ambiente, modello di emissione, SWISS10

Préface

Le bruit routier est, de loin, la source de bruit la plus importante en Suisse. Les propriétaires des routes ont l'obligation légale de réduire les nuisances sonores. Des mesurages et calculs du bruit permettent de déterminer la charge sonore et de la comparer aux valeurs limites en vigueur. Les calculs sont plus simples, et par là plus rapides et moins coûteux, que les mesurages. Un modèle de calcul aussi précis et pertinent que possible est nécessaire pour déterminer précisément le bruit routier. Par ailleurs, des calculs, le cas échéant des prévisions, du bruit doivent être effectués également dans le but de déterminer l'effet des mesures de limitation de la pollution sonore ou de représenter des situations futures, par exemple dans le cadre de nouvelles constructions.

En vertu de la loi sur la protection de l'environnement, le bruit du trafic routier doit être limité autant que possible par des mesures prises à la source. Les modèles de calculs actuels ne tiennent pas compte, ou pas suffisamment, de telles mesures (réductions de la vitesse, revêtements peu bruyants, pneus silencieux, véhicules électriques, etc.).

L'OFEV a ainsi chargé l'Empa de développer un nouveau modèle d'émission qui corresponde à l'état actuel de la technique et des connaissances et qui soit adapté aux évolutions futures du parc de véhicules. Ce nouveau modèle doit permettre de calculer de manière réaliste et actuelle les émissions du trafic routier. Il s'agit notamment d'évaluer avec précision l'effet des mesures de lutte contre le bruit, en particulier des mesures à la source afin de définir lesquelles sont les mieux adaptées pour protéger les personnes touchées par le bruit du trafic routier.

La précision des prévisions d'un modèle de calcul dépend de la qualité des données d'entrée. La catégorisation détaillée des types de véhicules selon le standard SWISS10 permet d'accroître cette précision mais aussi l'exactitude des calculs de scénarios. sonROAD18 va plus loin et fixe des valeurs d'émission également pour d'autres catégories de véhicules, par exemple pour les véhicules équipés d'une propulsion alternative (hybrides, électriques) mais aussi pour les véhicules des transports publics et pour les véhicules agricoles (SWISS10+).

La caractérisation acoustique des revêtements joue également un rôle important dans le niveau des émissions sonores du trafic routier. Ainsi, une attention particulière a été accordée à ce facteur d'influence lors de l'élaboration de sonROAD18.

Urs Walker, division Bruit et RNI
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

1 Introduction

1.1 Objectifs

Le bruit routier est la source de bruit la plus importante en Suisse en termes de nombre de personnes touchées par des immissions excessives. Un modèle de calcul aussi précis et pertinent que possible est nécessaire pour déterminer les immissions de bruit routier. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) recommande aux autorités d'exécution des méthodes de calcul appropriées conformes à l'état de la technique¹.

Sur mandat de l'OFEV, l'Empa a développé un nouveau modèle de calcul du bruit routier appelé sonROAD18, qui se base sur le modèle européen CNOSSOS. Toutefois, le nombre de catégories de véhicules du nouveau modèle est nettement plus élevé (SWISS10+) et les coefficients du modèle ont été adaptés au parc de véhicules (pneus inclus) sur les routes suisses. Il s'agit d'un modèle d'émission pur, sans calcul de propagation.

Le nouveau modèle d'émission sonROAD18 [1] permet de calculer de manière précise les émissions sonores des véhicules autorisés à rouler sur les routes suisses, aux fins de l'évaluation du bruit du trafic routier conformément à l'annexe 3 de l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB) [2].

Lors de la définition des exigences pour le modèle, il a été demandé que le nouveau modèle puisse être utilisé pour des situations standard ainsi que pour des situations particulières et des études spécifiques. Le modèle de bruit routier doit convenir à la fois pour des calculs simples dans le cas de données de base moins nombreuses et pour des calculs détaillés dans le cas de données de base plus fournies.

Les données de base minimales requises pour un calcul sont les suivantes : le TJM ou les volumes de trafic horaires (Nt1, Nt2, Nn1, Nn2), la vitesse signalée, la pente (à partir de $\pm 1\%$), la correction du revêtement (au moins sous la forme de la valeur KB) et la température moyenne

annuelle de l'air. Ces données d'entrée sont comparables aux données d'entrée requises pour les modèles précédents de prévision du bruit routier.

Le modèle sonROAD18 effectue les calculs avec les catégories de véhicules SWISS10. Si les volumes horaires du trafic ne sont pas disponibles pour les dix catégories de véhicules (jour et/ou nuit), le convertisseur SWISS10, développé par l'Empa, peut être utilisé pour estimer les volumes horaires du trafic pour les dix catégories de véhicules pour les phases de jour et de nuit. Le convertisseur SWISS10 fait partie du modèle sonROAD18.

sonROAD18 offre une modélisation précise des voies de circulation et, par-là, une modélisation réaliste, en particulier pour les autoroutes ; avec l'effort supplémentaire la qualité des prévisions est améliorée.

Avec sonROAD18, les corrections de revêtement sont nouvellement introduites sous forme spectrale. Dans le modèle, la correction du revêtement n'affecte que le bruit de roulement et ne dépend ni de la vitesse ni de la catégorie de véhicules. Les méthodes de mesurage les plus courantes utilisées en Suisse pour déterminer la qualité acoustique de la chaussée (CPX, SPB, MEB) peuvent continuer à être utilisées. Pour les cas où les mesurages du revêtement ne peuvent être effectués, des corrections spectrales standard ont été déterminées.

Pour pouvoir calculer, à l'aide du modèle d'émission sonROAD18, les valeurs d'immissions des immeubles touchés par des nuisances sonores, un calcul de propagation doit être effectué. Les calculs tests ont montré que le modèle de calcul décrit dans la norme ISO 9613-2² était adapté pour être associé à sonROAD18 en termes de précision des prévisions du bruit routier et de temps de calcul.

Ce document présente l'utilisation du modèle d'émission sonROAD18. Il ne constitue pas une aide à l'exécution. Le Manuel du bruit routier [4] et les géodonnées de base relevant du droit de l'environnement pour les cadastres

¹ Art. 38, al. 3, de l'ordonnance du 15 décembre 1986 sur la protection contre le bruit (OPB) [2]), en relation avec l'annexe 2, ch. 1, al. 2, OPB.

² Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation [3] (cf. chap. 3)

de bruit³ continuent à s'appliquer dans leurs versions actuelles.

1.2 Les principales caractéristiques de sonROAD18

Le modèle de calcul est décrit en détail dans le rapport correspondant [1], qui présente, notamment, les campagnes de mesure, les procédés d'évaluation, la calibration du modèle ainsi que la validation de ce dernier. Le descriptif complet du modèle est disponible en allemand. Une version courte en français [6], en allemand [5] et en italien [7] a été établie et elle contient le descriptif du modèle proprement dit ainsi que les chapitres les plus importants du rapport final complet.

Les caractéristiques principales de sonROAD18 sont les suivantes :

- sonROAD18 permet de calculer plus précisément les effets des mesures visant à limiter le bruit à la source que les anciens modèles.
- Le modèle se base sur les données du trafic SWISS10 et calcule séparément les émissions sonores pour chaque catégorie de véhicules. De plus, le modèle a été complété par des catégories supplémentaires (« SWISS10+ ») telles que les véhicules hybrides et électriques ou les tramways. Les systèmes modernes de comptage du trafic permettent de classer automatiquement les véhicules dans dix catégories différentes (p. ex. selon SWISS10).
- sonROAD18 présente une résolution fréquentielle en bandes de tiers d'octave en vue de tenir compte précisément des atténuations sur le chemin de propagation (notamment l'atténuation due à l'air ou l'effet de sol). Les capacités de calcul et de mémoire des ordinateurs de bureau traditionnels supportent cette résolution.
- Les qualités acoustiques du revêtement sont également intégrées dans le calcul avec une résolution en bandes de tiers d'octave, ce qui permet de prendre en considération de manière adéquate le large éventail de revêtements routiers (de type dense, semi-dense ou poreux). La correction du revêtement est ensuite effectuée sous

forme spectrale, indépendamment de la vitesse et de la catégorie de véhicules. L'effet final du revêtement sur le bruit total dépend quant à lui à la fois de la vitesse et de la catégorie du véhicule, ces deux facteurs déterminant les parts relatives du bruit lié à la propulsion et au roulement

- sonROAD18 permet de calculer les émissions sonores dès 20 km/h y compris les situations d'engorgement du trafic, de baser les calculs sur différentes vitesses pour chaque catégorie de véhicules et de simuler des effets d'accélération dans des cas particuliers.
- sonROAD18 reflète le parc de véhicules (pneus inclus) circulant en Suisse jusqu'en 2017⁴.
- L'ensemble des formules de sonROAD18 se fonde sur le modèle de calcul européen CNOSSOS-EU [8], qui doit être appliqué à partir de 2022 dans toute l'Union européenne pour la cartographie du bruit. Ainsi, sonROAD18 est largement compatible avec le modèle européen CNOSSOS-EU.

1.3 Comparaison des modèles anciens et actuels

Le tableau 1 présente les propriétés du modèle sonROAD18, comparées avec celles d'autres modèles anciens et actuels de calcul du bruit routier. Outre le calcul des émissions, les modèles StL86+ [9] [10] et sonRoad [11] comprennent également un calcul de la propagation, alors que sonROAD18 est un modèle d'émission uniquement, sans calcul de la propagation. Seules les propriétés relatives aux émissions sont répertoriées dans le tableau ci-dessous.

3 Identificateurs 142.1 et 144.1

4 La calibration du modèle a été effectuée au moyen de données de mesures de la période de 2008 à 2017.

Tableau 1

Propriétés de sonROAD18 comparées avec celles d'autres modèles de calcul du bruit routier

Paramètre	StL86+	sonRoad	CNOSSOS-EU	sonROAD18
Nombre de catégories de véhicules	2	2	5	>10 (SWISS10+)
Gamme de vitesses	50-120 km/h env.	30-120 km/h env.	20-130 km/h	20-130 km/h et situations d'engorgement du trafic
Vitesse par catégorie de véhicules	non	oui	oui	oui
Correction du revêtement	non spectrale	non spectrale	spectrale	spectrale
Correction de l'accélération	non	non	oui	Simulation de cas particuliers ⁵
Correction de la température	non	non	oui	oui
Caractérisation des émissions	niveau de pression acoustique à une distance de 1 m	puissance acoustique rayonnée	puissance acoustique rayonnée dans le demi-espace	puissance acoustique rayonnée dans le demi-espace
Hauteur de la source	0,80 m	0,45 m	0,05 m	0,05 m
Caractéristique directionnelle	horizontale	non	non	non
	verticale	non	non	oui
Résolution fréquentielle	aucune ⁶	24 bandes de tiers d'octave	8 bandes d'octave	24 bandes de tiers d'octave
Niveau maximum L_{max}	non	non	non	oui ⁷

5 La correction globale de l'accélération prévue dans le modèle CNOSSOS-EU pour les carrefours et les giratoires n'a pas été reprise [8]. Il est cependant possible de procéder à une simulation du processus d'accélération pour les cas spéciaux (cf. rapport final [1], annexe J Hinweise zu Korrekturen für Beschleunigungsvorgänge [Knoten und Kreisel], p. 190).

6 Niveau moyen pondéré A

7 En plus du niveau moyen L_{Aeq}

En comparaison d'autres modèles, sonROAD18 présente pour l'essentiel les avantages suivants :

- Catégorisation nettement plus détaillée des types de véhicules, avec plus de dix catégories différentes (y c. bus des transports publics, tramways, véhicules agricoles).
- Prise en compte des propriétés du parc actuel de véhicules et de leurs pneus en matière d'émissions.
- Prise en compte de l'électrification croissante des systèmes de propulsion : il est possible de calculer les émissions sonores des véhicules hybrides et entièrement électriques.
- Applicabilité aux basses vitesses, y compris aux situations d'engorgement du trafic.
- Prise en compte de la caractéristique de rayonnement en fonction de l'angle dans la direction verticale.

- Possibilité d'estimer le niveau sonore maximum pour chaque catégorie de véhicules.

1.4 Valeurs calculées

sonROAD18 permet de calculer les valeurs de sortie exigées à l'annexe 3, ch. 31, OPB, ainsi que de déterminer les valeurs suivantes : l'écart type des prévisions d'émissions (par catégorie de véhicules), le spectre fréquentiel de l'émission et le niveau maximum pondéré A $L_{A,max}$.

1.5 Suppléments et calibrages du modèle

Au besoin, il est possible de procéder à des calibrages du modèle.

2 Données d'entrée requises

2.1 Vue d'ensemble des données d'entrée requises

Un calcul selon le modèle sonROAD18 nécessite les données d'entrée indiquées dans le tableau 2 (cf. [1], point 10.3, p. 82):

Tableau 2
Données d'entrée requises pour sonROAD18

Valeur requise	Exigences minimales	Exigences plus larges	Zone d'application / valeur	Chapitre
Volume/composition du trafic	Volume de trafic TJM ou volumes de trafic N_{t_1} , N_{t_2} , N_{n_1} , N_{n_2} → répartition par catégories SWISS10 à l'aide du convertisseur SWISS10 ⁸	Volumes horaires moyens de trafic $N[c]$ par catégorie SWISS10 c jour et nuit	Valeurs avec une décimale (sauf TJM : nombres entiers)	2.2
Vitesses	Signalisée	En règle générale : signalisée Cas exceptionnel : vitesse significative du point de vue acoustique	$20 \text{ km/h} \leq v \leq 130 \text{ km/h}$ et $v = 0 \text{ km/h}$ (situations d'engorgement du trafic) Nombres entiers	2.3
Qualités acoustiques du revêtement, sans mesurage des qualités acoustiques du revêtement (ancienne méthode)	Valeur KB → correction spectrale standard correspondante du revêtement	Valeur KB → correction spectrale standard correspondante du revêtement	Corrections standard du revêtement pour 50 km/h : $-9 \text{ dBA} \leq \text{valeur KB} \leq +3 \text{ dBA}$ Corrections standard du revêtement pour 80 km/h : $-6 \text{ dBA} \leq \text{valeur KB} \leq +5 \text{ dBA}$ Nombres entiers	2.4
Qualités acoustiques du revêtement, avec mesurage des qualités acoustiques du revêtement	Correction spectrale mesurée du revêtement	Correction spectrale mesurée du revêtement	Valeurs par tiers d'octave arrondies mathématiquement à 0,1 dB, sans pondération A	2.4
Inclinaison longitudinale de la route	p. ex. à l'aide de swissTLM ^{3D} [12]	p. ex. à l'aide de swissTLM ^{3D} [12]	Nombres entiers à partir de $\pm 1 \%$ (selon le signe)	2.5
Température de l'air	En règle générale : valeur moyenne annuelle	En règle générale : valeur moyenne annuelle	Nombres entiers	2.6

2.2 Volume/composition du trafic

2.2.1 Catégories de véhicules SWISS10+

La classification des différents véhicules se base sur le schéma SWISS10 de la Directive ASTRA 13012 Postes de comptage du trafic [13]. Ce schéma est complété par les catégories des véhicules hybrides et entièrement électriques («SWISS10+») et d'autres catégories telles que les tramways et les véhicules agricoles. De ce fait, sonROAD18 permet de procéder à des calculs portant

sur le parc de véhicules actuel et futur (cf. [1], point 3.3, tab. 3.1, p. 10 ou point 10.4, tab. 10.1, p. 83).

Les différentes catégories de véhicules SWISS10+ sont répertoriées dans le tableau 3⁹. Un schéma présentant la classification des différents types de véhicules dans les catégories SWISS10 figure à l'annexe 1 du présent document.

⁹ Les véhicules équipés d'un moteur à hydrogène doivent être traités de la même manière sur le plan acoustique que les véhicules possédant un moteur à combustion conventionnel; les véhicules avec piles à combustible à hydrogène - oxygène combinées à un moteur électrique doivent être traités de la même manière que les véhicules possédant un moteur électrique.

Tableau 3

Catégories de véhicules selon SWISS10+ par catégories générales, sous-catégories et types

N°	Catégories générales Catégories SWISS10+	N°	Sous-catégories Catégories SWISS10+ (système de propulsion)	Types
1	Bus ¹⁰	1a	Bus à propulsion conventionnelle	
		1b	Bus à propulsion hybride ou électrique ¹¹	
2	Motocycle	2a	Propulsion conventionnelle	
		2b	Propulsion électrique ¹²	
3	Voiture de tourisme	3a	Voiture de tourisme à propulsion conventionnelle	
		3b	Voiture de tourisme à propulsion hybride	
		3c	Voiture de tourisme à propulsion électrique	
4	Voiture de tourisme avec remorque			
5	Voiture de livraison jusqu'à 3,5 t			
6	Voiture de livraison jusqu'à 3,5 t avec remorque			
7	Voiture de livraison jusqu'à 3,5 t avec semi-remorque			
8	Camion	8a	Camion à propulsion conventionnelle	
		8b	Camion à propulsion électrique ¹³	
9	Train routier			
10	Véhicule articulé			
11	Bus des transports publics / transports urbains	11a	Bus standard diesel, 2 essieux	
		11b	Bus articulé diesel, 3 essieux	
		11c	Bus à gaz, 3 essieux	
		11d	Bus hybride, 2/3 essieux	

¹⁰ Fait ici référence aux autobus et cars de voyage et non aux bus des transports publics.

¹¹ Au moment de la publication du présent document, il n'existait aucun coefficient de modèle pour les catégories de véhicules 1b.

¹² Au moment de la publication du présent document, il n'existait aucun coefficient de modèle pour les catégories de véhicules 2b.

¹³ Au moment de la publication du présent document, il n'existait aucun coefficient de modèle pour les catégories de véhicules 8b.

N°	Catégories générales Catégories SWISS10+	N°	Sous-catégories Catégories SWISS10+ (système de propulsion)	Types
		11e	Trolleybus électrique articulé, 3 essieux	
		11f	Trolleybus électrique biarticulé, 4 essieux	
		11g	Bus à batterie	Midibus électrique SOR EBN 8, 2 essieux
				Bus standard hybride 7900 EH, 2 essieux
				Bus standard électrique Caetano, 2 essieux
				Bus articulé Swisstrolley+ avec batterie, 3 essieux
12	Tramways	12a		Combino (Berne)
		12b		Combino (réseau BVB de Bâle)
		12c		Tango (réseau BLT de Bâle)
		12d		Flexity (Bâle)
		12e		Cobra (Zurich)
		12f		Tram 2000 (Zurich)
13	Véhicules agricoles	13a	Tracteur	
		13b	Tracteur avec remorque chargée	
		13c	Machine agricole	

Pour les catégories SWISS10 n° 1 à 10, le niveau d'émission moyen en fonction de la vitesse est représenté à l'aide d'un graphique à l'annexe 2.

2.2.1.1 Tramways

Les tramways sont traités dans sonROAD18 comme une catégorie de véhicules à part (catégorie n° 12). Pour déterminer si le bruit émis par les tramways doit être évalué en tant que source de bruit routier ou ferroviaire, il convient de se référer à la Liste de contrôle Environnement pour les installations ferroviaires non soumises à l'EIE, ch. 5.12, Bruit – Phase d'exploitation Tram, p. 37 [14]. Lorsque le trafic ferroviaire doit être évalué en tant que bruit routier conformément à l'annexe 3 OPB, la prévision des émissions avec sonROAD18 se base sur les véhicules de la catégorie n° 12. Lorsqu'il doit être évalué en tant que bruit des chemins de fer conformément à l'annexe 4 OPB, il est possible d'utiliser sonTRAM¹⁴ comme modèle de prévision des émissions.

Si le type de tramway (catégorie n° 12) n'est pas encore fixé au moment de la prévision des émissions ou qu'aucune information spécifique n'est disponible concernant l'acoustique du type de tramway à modéliser, c'est le modèle Cobra des Transports publics zurichois VBZ qui peut être utilisé.

2.2.1.2 Bus

Si au moment du calcul de prévision des émissions, le type de bus (catégorie n° 11) n'est pas encore fixé ou qu'aucune information spécifique n'est disponible concernant l'acoustique du type de bus à modéliser, il est possible d'utiliser comme référence acoustique le type le plus similaire dans la technique et la construction du tableau 3.

2.2.2 Convertisseur SWISS10

Pour utiliser sonROAD18 de manière optimale, les volumes de trafic horaires moyens $N[c]$ par catégorie SWISS10 c (données d'entrée) doivent être saisis séparément pour les phases de jour et de nuit.

14 <https://sontram.empa.ch>

Si ces données de base détaillées concernant le nombre de véhicules par catégorie ne sont pas disponibles, sonROAD18 propose d'utiliser le convertisseur SWISS10 (cf. [1], chap. 11, p. 95 ainsi que [15], chap. 4, p. 26). Ce convertisseur a été créé par l'Empa dans le cadre de l'élaboration du modèle sonROAD18 pour le cas où aucune donnée de trafic plus appropriée répartie par catégorie de véhicule ne serait disponible.

Le convertisseur SWISS10 est constitué d'un tableau qui permet une répartition par catégories SWISS10 pour différentes combinaisons entre le type de route et la vitesse signalisée. Il a été développé et validé par l'Empa sur mandat de l'OFEV. Le convertisseur SWISS10 repose sur un grand nombre de comptages manuels et automatiques de la circulation, dans des zones aussi bien urbaines que rurales et sur différents types de routes.

2.2.2.1 Volumes de trafic TJM, Nt1, Nt2, Nn1, Nn2 et voies de circulation

Les principales valeurs d'entrée à saisir dans le convertisseur SWISS10 sont soit le trafic journalier moyen (TJM; nombre de véhicules sur 24 heures) soit les volumes de trafic horaires Nt1, Nt2, Nn1, Nn2 au sens de l'annexe 3, ch. 32, OPB. On obtient, à partir de ces valeurs, les volumes de trafic horaires $N[c]$ des catégories SWISS10 pour le jour et la nuit pour chaque voie de circulation. La conversion est effectuée en fonction du type de route, de la vitesse maximale signalisée et, éventuellement, de la voie de circulation (voie normale ou voie de dépassement pour les routes à grand débit).

Associé au convertisseur SWISS10, sonROAD18 peut prédire la valeur des émissions voie par voie et les logiciels d'implémentation courants (programmes de calcul de la propagation du bruit) indiquent les valeurs de sortie pour chaque voie de circulation séparément. Le convertisseur SWISS10 calcule les volumes de trafic horaires pour le transport individuel motorisé (TIM) dans les catégories SWISS10, mais pas pour les transports publics. Le nombre de véhicules pour les catégories 11 et 12 doit donc être pris en compte séparément. Le convertisseur SWISS10 ne calcule pas non plus les volumes de trafic pour les propulsions alternatives – par exemple hybrides et électriques¹⁵ – de

même que pour les véhicules agricoles (catégorie n° 13). Au moment du développement du convertisseur SWISS10, les postes de comptage du trafic n'étaient pas capables de distinguer les différents types de propulsion. C'est pourquoi les véhicules à propulsion alternative alors en circulation sont comptabilisés dans les volumes de trafic des véhicules à propulsion conventionnelle. Les catégories de véhicules à propulsion alternative doivent être considérées comme une préparation aux évolutions futures du parc de véhicules. Ils sont également utilisés pour le calcul de scénarios, par exemple dans le cadre d'études.

L'utilisation du convertisseur SWISS10 n'est pas recommandée dans les situations de faible trafic associées à une vitesse réduite (≤ 30 km/h) et il convient alors de privilégier les comptages.

S'agissant des routes à grand débit comportant deux voies dans la même direction de circulation, le convertisseur SWISS10 permet de prévoir la composition du trafic pour la voie normale et la voie de dépassement séparément et de manière différenciée. Lorsque le convertisseur SWISS10 est utilisé pour ce type de route, il faut donc sélectionner « Voie normale » ou « Voie de dépassement ». Le convertisseur SWISS10 n'a pas été conçu pour les routes à grand débit comportant plus de deux voies dans la même direction de circulation (p. ex. deux voies de déplacement ou dans une zone de bifurcation). Dans de tels cas, il est recommandé d'utiliser, dans la mesure du possible, les données du poste de comptage du trafic SWISS10 le plus proche¹⁶.

Le convertisseur SWISS10 fournit des prévisions détaillées, si bien qu'il n'est pas nécessaire d'appliquer les facteurs de conversion indiqués à l'annexe 3, ch. 33 OPB.

2.2.2.2 Combinaisons des types de route et des vitesses signalisées

La classification des routes se fonde sur la typologie établie par la norme VSS 40 040 b [16]. L'affectation d'une route est déterminée non par des critères tels que le volume de trafic ou la localisation des tronçons à l'intérieur ou à l'extérieur des localités, mais par la fonction :

15 Cf. catégories de véhicules du trafic individuel motorisé avec propulsions alternatives du tableau 3: catégories 1b, 2b, 3b, 3c et 8b

16 Cf. également le Comptage suisse automatique de la circulation routière (CSACR), recensements permanents automatiques de l'ASTRA

- RD: routes de desserte importante au niveau du quartier dont la fonction est de desservir
- RC: routes collectrices d'importance locale dont la fonction est collectrice
- RL: routes de liaison d'importance entre le niveau régional et le niveau interlocalité avec fonction de liaison
- RP: routes principales d'importance entre le niveau national et le niveau interlocalité avec fonction de liaison
- RGD: routes à grand débit d'importance entre le niveau international et le niveau régional avec fonction de transit

Sur cette base, le convertisseur SWISS10 utilise les combinaisons suivantes :

Tableau 4
Combinaisons du convertisseur SWISS10

ID	Sigle	Type de route	Vitesse signalisée	Nombre de voies dans les deux directions de circulation	Voie de circulation
01	RC-30	Route collectrice	30	2	Voie normale
02	RC-50	Route collectrice	50	2	Voie normale
03	RL-50-60	Route de liaison	50 ou 60	2	Voie normale
04	RL-80	Route de liaison	80	2	Voie normale
05	RP-50-60	Route principale	50 ou 60	2	Voie normale
06	RP-80	Route principale	80	2	Voie normale
07	RGD-2-80	Route à grand débit	80	2	Voie normale
08	RGD-2-100	Route à grand débit	100	2	Voie normale
09	RGD-4-N-80	Route à grand débit	80	4	Voie normale
10	RGD-4-U-80	Route à grand débit	80	4	Voie de dépassement
11	RGD-4-N-100	Route à grand débit	100	4	Voie normale
12	RGD-4-U-100	Route à grand débit	100	4	Voie de dépassement
13	RGD-4-N-120	Route à grand débit	120	4	Voie normale
14	RGD-4-U-120	Route à grand débit	120	4	Voie de dépassement

Les données disponibles au moment du développement du convertisseur SWISS10 ne permettaient pas d'indiquer une clé de répartition SWISS10 pour chaque combinaison du type de route et de la vitesse signalée. Les situations de trafic indiquées dans le tableau ci-dessous qui ne sont pas comprises dans le convertisseur SWISS10 peuvent être attribuées par défaut :

Tableau 5 :

Liste des situations de trafic pouvant être utilisées pour remplacer les situations manquantes.

Type de route	Vitesse signalée [km/h]	Nombre de voies, deux directions de circulation	Situation de trafic par défaut
Route collectrice RC / zone de rencontre	20	2	→ RC-30
Route de liaison RL	30	2	→ RL-50-60
Route principale RP	30	2	→ RP-50-60
Route principale RP	70	2	→ RP-80

2.3 Vitesses

Selon le rapport [1], point 10.3, p. 82, le modèle sonROAD18 est utilisable dans une plage de vitesses $20 \text{ km/h} \leq v \leq 130 \text{ km/h}$. Pour les situations d'engorgement du trafic la valeur $v = 0 \text{ km/h}$ peut être introduite (cf. [1], point 10.8, p. 92).

Pour le calcul des émissions avec sonROAD18, la vitesse n'est pas entrée sous forme de distribution de valeurs car il est considéré que tous les véhicules d'une catégorie c circulent à la même vitesse $v[c]$ saisie dans le modèle.

S'il existe un mesurage de la distribution des vitesses, on admettra plutôt v_{50} ou $v_{moyenne}$ comme grandeurs statistiques pour l'indication de la vitesse. Les analyses montrent que la **vitesse moyenne** $v_{moyenne}$ est adaptée comme **vitesse significative du point de vue de l'acoustique pour sonROAD18**. Dans le document [15], chap. 5,

p. 38, il est montré, au moyen d'une distribution des vitesses réelles, que les grandeurs statistiques v_{50} , $v_{moyenne}$ et v_{60} n'entraînent que des différences minimes dans les exemples étudiés (faible sensibilité).

La vitesse v_{85} n'est pas la valeur pertinente pour le calcul des prévisions d'émissions avec sonROAD18.

Pour le calcul du niveau d'émission à l'état initial et à l'état futur, c'est généralement la vitesse signalée qui est déterminante. Le modèle admet toutefois aussi l'utilisation de la vitesse moyenne $v_{moyenne}$.

Dans des cas exceptionnels justifiables, il est possible de déroger à cette règle générale et d'indiquer dans le modèle la vitesse pertinente du point de vue acoustique sous la forme de la vitesse moyenne $v_{moyenne}[c]$, jour/nuit.

Il peut y avoir exception¹⁷ :

- lorsque les **conditions topographiques** du tracé de la route empêchent de conduire à la vitesse signalisée (p. ex. tronçon de montagne sinueux à 80 km/h, hors localité);
- lorsque la **visibilité et/ou la marge de manœuvre sont limitées** et qu'il n'est pas possible, pour des raisons de sécurité, de conduire à la vitesse signalisée, quelles que soient les conditions météorologiques (p. ex. rue étroite à 50 km/h en localité ou centre de village étroit);
- si une **augmentation des émissions sonores** survient immédiatement **après le changement de la vitesse signalisée** (p. ex. à l'entrée d'une localité, passage de 80 à 50 km/h ou à la sortie de celle-ci, passage de 50 à 80 km/h)¹⁸.

Concernant la vitesse signalisée, il convient de tenir compte du fait que dans sonROAD18, les vitesses maximales *en fonction des catégories de véhicules* indiquées dans le tableau 6 doivent être prises en compte, confor-

¹⁷ Dans le cadre d'un justificatif sur les effets du bruit en vue d'une réduction de la vitesse (acoustique), en vertu de l'arrêt du Tribunal fédéral 1C_11/2017 du 2 mars 2018, la vitesse moyenne $v_{moyenne}$ est déterminante pour l'état initial et la vitesse signalée pour l'état futur.

¹⁸ Dans le but de tenir également compte du comportement (accélérer / freiner)

mément à l'art. 4a et 5 de l'ordonnance sur les règles de la circulation routière [18] ¹⁹.

Tableau 6

Vitesses maximales en fonction des catégories de véhicules

(cf. art. 4a et 5 de l'ordonnance sur les règles de la circulation routière [18]).

En rouge: la vitesse maximale autorisée pour la catégorie concernée est inférieure à la vitesse maximale signalisée.

Catégorie SWISS10+	Description de la catégorie	Semi-autoroutes 100 km/h	Autoroutes 120 km/h
1	Bus	100 km/h	100 km/h
2	Motocycle	100 km/h	120 km/h
3	Voiture de tourisme	100 km/h	120 km/h
4	Voiture de tourisme avec remorque	100 km/h	100 km/h
5	Voiture de livraison jusqu'à 3,5 t	100 km/h	120 km/h
6	Voiture de livraison jusqu'à 3,5 t avec remorque	100 km/h	100 km/h
7	Voiture de livraison jusqu'à 3,5 t avec semi-remorque	100 km/h	100 km/h
8	Camion	80 km/h	80 km/h
9	Train routier	80 km/h	80 km/h
10	Véhicule articulé	80 km/h	80 km/h

2.4 Qualités acoustiques du revêtement

2.4.1 Revêtement de référence

Le revêtement de référence de sonROAD18 correspond à un ACRM8 (avec une teneur en vides < 8 %), mis en place conformément à la règle suisse SNR 640 436 [19] applicable à l'époque. En vertu de l'annexe 1b du Manuel du bruit routier [20], ce revêtement présente une valeur KB de 0 dBA pour les vitesses > 90 km/h et une valeur de +1 dBA pour les vitesses < 60 km/h. Les résultats d'une analyse [21] montrent que les évaluations actuelles concernant

l'ACMR8 donnent une valeur KB de +0,3 dBA pour les faibles vitesses (trafic mixte; proportion N2 de 8 %). En conclusion, les qualités acoustiques des revêtements de référence des deux modèles, StL86+ et sonROAD18, sont similaires.

2.4.2 Prise en considération des qualités acoustiques du revêtement

Pour obtenir des prévisions de bruit les plus exactes possible, il faut idéalement déterminer les qualités acoustiques spectrales du revêtement en place au moyen d'une méthode de mesurage standardisée (SPB, CPX, SEM, cf. [22]) et saisir ces dernières dans sonROAD18 comme correction spectrale du revêtement $\Delta L_{W,R,road}[i]$ (i : indice de la bande de tiers d'octave). Néanmoins en l'absence de valeurs mesurées, il est toujours possible d'utiliser, par défaut, les valeurs KB associées au modèle de calcul StL86+ sous la forme des corrections standard du revêtement (cf. point 2.4.4).

Les procédures qui permettent de convertir les qualités acoustiques mesurées d'un revêtement routier existant en une correction spectrale du revêtement compatible avec sonROAD18 $\Delta L_{W,R,road}[i]$ (cf. figure 1) est expliquée dans le descriptif du modèle [1].

2.4.3 Intégration des qualités acoustiques du revêtement au moyen de mesurages

Le tableau 7 présente les trois méthodes de mesurage les plus couramment utilisées en Suisse pour déterminer les qualités acoustiques du revêtement (voir aussi [22] à ce sujet).

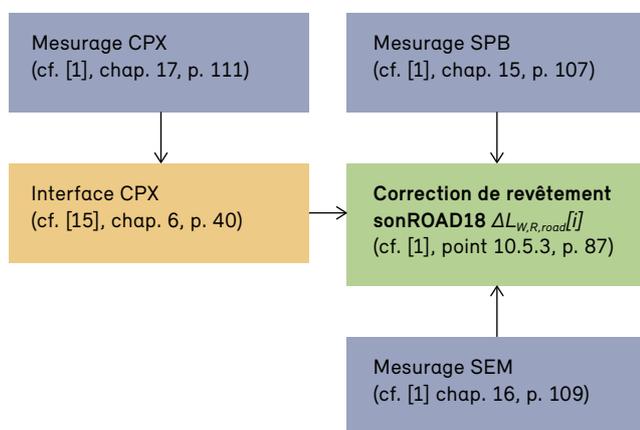
¹⁹ Les vitesses maximales sont indépendantes du système de propulsion. Ainsi, pour les véhicules à propulsions hybride, hydrogène ou électrique, les mêmes vitesses maximales que pour les véhicules à propulsion conventionnelle s'appliquent. La vitesse maximale autorisée pour les voitures automobiles légères avec remorque sur les semi-autoroutes et les autoroutes s'applique uniquement si le poids total de la remorque n'excède pas 3.5 t (cf. art. 5, al. 2, let. c, OCR [18])

Tableau 7 : Méthodes de mesure pour l'intégration des qualités acoustiques du revêtement dans sonROAD18

Méthode de mesure	Norme	Description
SPB : méthode statistique de passage (Statistical Pass-By)	ISO 11819	Mesurage de passages de véhicules isolés avec relevé simultané de la vitesse de conduite et de la catégorie du véhicule pour normaliser le mesurage
SEM : mesurage des émissions par échantillonnage	non normé	Mesurage du bruit routier global à proximité de la route
CPX : Close Proximity	ISO 11819 -2	Le tronçon est parcouru en utilisant une remorque de mesurage permettant d'enregistrer en continu le bruit de roulement pour des pneus de voiture et des pneus de camion normés.

Toutes ces méthodes de mesure peuvent continuer à être utilisées avec sonROAD18. Les mesurages SEM et SPB peuvent être intégrés directement pour la correction du revêtement dans sonROAD18 (cf. figure 1). Une interface CPX, à savoir un modèle de conversion *ad hoc*, permet l'intégration des mesures CPX.

Figure 1
Intégration des qualités acoustiques du revêtement dans sonROAD18 au moyen de mesurages

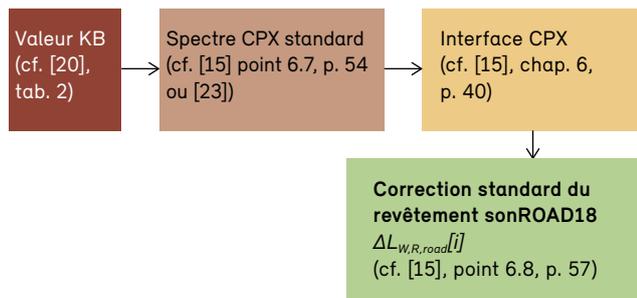


2.4.4 Intégration au moyen de valeurs KB

Si aucun mesurage du revêtement n'a été effectué ou qu'aucun mesurage n'est réalisable, il est possible de recourir à une **correction standard du revêtement** en présumant une valeur KB. Ces corrections ont été établies de la manière suivante (cf. [23] et figure 2): les spectres CPX ont été regroupés par valeurs KB à partir d'une base de données de mesurages CPX contenant notamment différents types de revêtements, l'âge de ces derniers ainsi que leurs valeurs KB correspondantes. Un spectre CPX moyen, appelé **spectre CPX standard**, a ensuite été calculé pour chaque KB. Des analyses statistiques ont montré que l'écart type par spectre CPX standard est plus faible lorsque le regroupement est opéré en fonction des valeurs KB que lorsqu'il est opéré en fonction des types de revêtements (cf. [23]).

Chaque **spectre CPX standard** moyen a ensuite été converti à l'aide de l'interface CPX (cf. [15], chap. 6, p. 40) en une correction spectrale du revêtement compatible avec sonROAD18 $\Delta L_{W,R,road}[i]$. Ces corrections spectrales du revêtement définies sont appelées **corrections standard du revêtement** et peuvent, de par leur fonction, être comparées aux valeurs KB. Les **corrections standard du revêtement** par KB sont présentées sous la forme d'un tableau pour les vitesses de 50 km/h et 80 km/h en annexe 3 et 4. Les deux séries de corrections standard du revêtement sont nommées respectivement KB50 et KB80. Les corrections standard du revêtement sont également présentées dans le rapport de l'Empa sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm – Weiterentwicklungen und Ergänzungen sous forme de tableau et de graphique (cf. [15], point 6.8, p. 57).

Figure 2
Intégration des qualités acoustiques du revêtement dans sonROAD18 au moyen des valeurs KB



Le tableau 8 attribue, en fonction de la vitesse signalée, les valeurs KB indiquées dans le tableau 2 de l'annexe 1b du Manuel du bruit routier [20] aux deux séries de correction standard du revêtement sonROAD18 : KB50 et KB80.

Tableau 8
Affectation des valeurs KB en fonction de la vitesse aux corrections standard du revêtement dans sonROAD18

Vitesse signalée	Annexe 1b Manuel de protection contre le bruit, tab. 2, valeur KB issue de la colonne	Correction standard du revêtement dans sonROAD18
≤ 60 km/h	< 60 km/h, N2 = 8 %	KB50
70 km/h	< 60 km/h, N2 = 8 %	KB80
≥ 80 km/h	> 90 km/h, N2 = 15 %	KB80

2.4.5 Sensibilité des qualités acoustiques du revêtement

Dans sonROAD18, les émissions sonores totales des véhicules se composent de la somme énergétique du bruit provenant de la propulsion et de celui provenant du roulement ainsi que d'une correction pour la caractéristique de rayonnement vertical. La correction du revêtement porte uniquement sur la composante du bruit provenant de roulement.

Dans un modèle de calcul du bruit routier, une importance majeure est accordée aux qualités acoustiques du revê-

tement (cf. également à ce sujet l'analyse de sensibilité²⁰ dans [1], point 13.2, tab. 13.1, p. 105). Pour les vitesses moyennes et hautes, la correction du revêtement est l'un des principaux facteurs d'influence sur les émissions globales. Le bruit de propulsion influence de manière plus importante les émissions globales uniquement lorsque la vitesse est réduite (≤ 40 km/h).

Dans le modèle StL86+, la correction du revêtement agit sur le bruit global, car ce modèle n'effectue pas de distinction entre bruit de propulsion et bruit de roulement. La correction du revêtement y affecte alors directement et intégralement le niveau d'émission. Cela signifie par exemple qu'avec StL86+ un revêtement phonoabsorbant très efficace avec une valeur KB de -6 dBA réduit le niveau d'émission de -6 dBA dans toutes les situations, indépendamment de la vitesse, de la déclivité et de la composition du trafic. Mais en réalité, l'effet du revêtement dépend de ces facteurs, dans des proportions qui ne sont pas encore connues de manière définitive. Cependant, plus la vitesse est basse, plus la part du bruit de roulement dans le bruit global diminue. Dès lors que le bruit de roulement constitue une faible proportion du bruit global, l'influence de la correction du revêtement sur le bruit global est également moindre.

2.4.6 Éléments importants concernant les qualités acoustiques du revêtement

Les spectres indiqués dans le tableau 9.1 du rapport de l'Empa sonROAD18 — Berechnungsmodell für Strassenlärm [1] ne sont pas adaptés et ne doivent pas être utilisés comme corrections du revêtement. Ils ont uniquement été utilisés lors de la calibration du modèle et sont présentés dans ledit rapport par souci d'exhaustivité (cf. [1], point 9.4 Belagseinfluss, p. 81). Lors de la calibration du modèle, il a fallu définir la qualité acoustique du revêtement au moment du mesurage d'un tronçon donné afin de déterminer les coefficients du modèle. En l'occurrence, ces qualités acoustiques ne s'appliquent qu'à ce tronçon. Ces spectres du revêtement ne sont par conséquent pas représentatifs de manière générale des types de revêtement indiqués.

²⁰ Sensibilité des prévisions d'émission aux modifications des valeurs requises pour le calcul

Le revêtement acoustiquement neutre du modèle n'est pas le revêtement de référence²¹ du modèle, il convient d'utiliser la correction standard du revêtement de KB = 0 dB.

Le modèle sonROAD18 n'est pas validé de manière définitive pour les situations présentant un revêtement phonoabsorbant et des vitesses basses ($v \leq 50 \text{ km/h}$)²², ce qui signifie notamment que la précision des prévisions n'est pas encore définitivement établie pour définir la combinaison des mesures de lutte contre le bruit « Réduction de vitesse » et « Revêtements phonoabsorbants ».

2.5 Inclinaison de la route/voies de circulation

Dans le modèle sonROAD18, la correction de la pente dépend non pas de la fréquence, mais de la vitesse et de la catégorie de véhicules (cf. [1], point 10.5.2, éq. 10.4-6). Une correction de la pente est nécessaire en cas d'inclinaison longitudinale de la route $s \leq -1 \%$ ou $s \geq 1 \%$. L'application de cette correction est fonction du signe de la pente (positif ou négatif) et exige donc une modélisation indépendante des sens de circulation pour les routes non planes.

Lors d'une modélisation par l'utilisateur, les programmes de calcul de la propagation du bruit peuvent séparer automatiquement la route en deux voies de circulation par un axe et répartir également le volume de trafic sur les deux voies.

L'inclinaison de la route dans le sens longitudinal doit être indiquée par une valeur positive ou négative à partir de $\pm 1 \%$. La plage de valeurs n'est pas limitée.

L'inclinaison longitudinale de la route peut être obtenue, par exemple, à partir du modèle topographique du paysage à grande échelle de la Suisse, swissTLM^{3D}, de l'Office fédéral de topographie (swisstopo) [12].

Sur une route où le volume de trafic est à peu près le même dans les deux sens de circulation, la correction positive de la pente est en principe dominante. Si un tronçon ou un tracé de route présente uniquement des voies de circulation pouvant être empruntées dans une direction²³ descendante (inclinaison négative), aucune correction de la pente n'est requise si s se situe dans la plage $-4 \% \leq s \leq 0 \%$, indépendamment de la catégorie de véhicules et de la vitesse ($\Delta L_{W,P,grad}[C] = 0 \text{ dB}$, cf. [1], point 10.5.2, éq. 10.4-6).

Bien que sonROAD18 puisse calculer séparément chaque voie de circulation, la plupart des cas correspondent à un tronçon de route à deux voies simples présentant une circulation bidirectionnelle et des volumes de trafic quasiment identiques dans les deux sens. La route peut être modélisée en tant qu'axe unique pour autant que les critères suivants soient remplis de manière cumulative :

- la différence entre les trafics journaliers moyens (TJM) des deux directions de circulation est inférieure à 10 % ;
- l'inclinaison longitudinale de la route est $s \leq 3 \%$.

Dans les cas suivants, une modélisation voie par voie permet d'obtenir des valeurs d'émission plus précises :

- un ou plusieurs obstacles au bruit²⁴ sont présents et déclivité importante ;
- plusieurs voies par direction de circulation existent (p. ex. autoroutes).

2.6 Température de l'air

Pour le calcul des valeurs d'émission moyennes annuelles, la température à considérer est la température moyenne annuelle. Il s'agit en l'occurrence de la température de l'air et non de la température de surface du revêtement routier. En outre, elle n'est pas différenciée en fonction du cycle journalier (jour/nuit). La température de référence de sonROAD18, fixée à 10°C, correspond à la valeur moyenne

²¹ À savoir ACMR8 avec $\Delta L_{W,R,roadffj} = 0 \text{ dB}$ pour toutes les bandes de fréquences

²² Au moment de l'élaboration du modèle, il n'existait que très peu de tronçons à 30 km/h équipés d'un revêtement silencieux.

²³ P. ex. routes à sens unique, routes dont les sens de circulation sont séparés, entrées ou sorties d'autoroutes et de semi-autoroutes

²⁴ P. ex. parois ou remblais/buttes antibruit, mur de soutènement, crête, talus

annuelle sur le Plateau suisse²⁵, si bien qu'il n'est généralement pas nécessaire d'effectuer une correction de la température pour les calculs portant sur des moyennes annuelles (cf. [1], point 3.2, p. 10, ou point 10.1, p. 82). En règle générale, une correction de la température n'est pas non plus requise pour les prévisions des émissions sonores de structures et/ou de conditions d'exploitation futures (horizon de prévision).

Si l'écart entre la température moyenne annuelle et la température de référence est supérieur à 5°C, il y a lieu d'effectuer une correction de la température. Le cas échéant, on peut se référer, par exemple, à l'appréciation de l'évolution annuelle de la température par les stations du Réseau suisse de mesures climatiques (Swiss NBCN) de MétéoSuisse²⁶.

²⁵ Moyenne annuelle pour 2017 pour le nord de la Suisse (nord des Alpes) au-dessous de 1000m : 9.8°C. Source : MétéoSuisse, Begert M., Frei C., Area-mean temperatures of Switzerland. DOI: 0.18751/Climate/Timeseries/CHTM/1.0, 10.2.2018

²⁶ www.meteosuisse.admin.ch

3 Calcul de la propagation

3.1 Modèle

La norme internationale ISO 9613-2 *Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation* [3] propose une méthode complète pour calculer la propagation du son de la source de bruit, à savoir la route, aux points d'immission. La méthode est applicable aux sources de bruit situées à proximité du sol telles que le trafic routier et ferroviaire ou encore les activités industrielles et artisanales, et couvre la plupart des mécanismes majeurs d'atténuation. Elle est implémentée dans la plupart des logiciels de calcul du bruit disponibles sur le marché. Un calcul de la propagation conforme à la norme ISO 9613-2 permet notamment de prendre en compte les effets acoustiques suivants :

- divergence/atténuation géométrique,
- absorption atmosphérique,
- effet du sol en fonction du type de sol,
- réflexion des surfaces,
- effet d'écran par des obstacles²⁷,
- effets météorologiques.

Le calcul est effectué en fonction de la fréquence (résolution en bandes d'octave avec des fréquences médianes nominales de 63 Hz à 8 kHz ; à savoir huit bandes de fréquences).

La norme ISO 9613-2 calcule le niveau de pression acoustique continu pondéré (A) dans des conditions météorologiques favorables à la propagation du son (dans le sens du vent, ou inversion au sol bien développée et faible – tel que cela est généralement le cas de nuit).

La norme ISO 9613-2 laisse parfois une certaine marge d'interprétation. Ces lacunes peuvent être comblées à l'aide du rapport technique ISO/TR 17534, *Acoustics – Software for the calculation of sound outdoors – Part 3: Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2 in software according to ISO 17534-1* [24]. Ce dernier contient par ailleurs quelques précisions qui

permettent de réduire l'incertitude liée aux prévisions grâce à des spécifications faciles à mettre en œuvre.

Les spectres des émissions calculés avec sonROAD18 doivent être convertis en un niveau d'immission au moyen de la méthode de calcul de la propagation du bruit décrite dans la norme ISO 9613-2 [24], édition 1996. Le calcul de la propagation doit être effectué de façon spectrale, avec une résolution fréquentielle minimale en bandes d'octave.

Les logiciels utilisés pour le calcul de la propagation du bruit et leurs paramètres de calcul doivent tenir compte de l'ensemble des recommandations de la norme ISO/TR 17534-3, première édition du 15 janvier 2015 [24].

Le calcul de la propagation selon le modèle StL86+ n'est pas adapté à sonROAD18, notamment parce que les deux modèles considèrent une hauteur différente de la source de bruit.

3.2 Paramètres de calcul

Les scénarios de test calculés ont montré qu'afin d'obtenir un calcul de la propagation qui soit le plus précis possible et le mieux adapté à la situation, les paramètres suivants sont adéquats :

- Conditions de référence : T = 10° C, humidité relative de l'air 70 %
- Effet du sol : la méthode simplifiée pour déterminer l'effet du sol ne peut pas être utilisée, car, en vertu de la norme ISO 9613-2, elle est destinée uniquement aux calculs non spectraux et elle se limite aux sols poreux ou du moins majoritairement poreux.
- La diffraction latérale autour d'objets doit être prise en compte, même s'il y en a plusieurs (diffraction latérale multiple).
- Le facteur de sol G d'après la norme ISO 9613-2, point 7.3.1 [3], n'est pas prédéfini ici de manière globale, car la porosité du sol varie en règle générale sur le chemin de propagation et en fonction de la situation.

²⁷ Obstacles tels que bâtiments, élévations de terrain/crêtes, parois ou remblais/buttes antibruit, murs de soutènement, ouvrages d'art en général

Les routes et les places de stationnement, qui généralement réfléchissent les ondes sonores, constituent des exceptions ($G = 0$). L'annexe 5 propose une affectation du facteur de sol G aux couvertures du sol conformément à swissTLM^{3D}.

- Absorption du bâtiment: sauf si d'autres informations sont connues, les bâtiments doivent être modélisés avec une perte de réflexion de 1 dB. D'autres degrés d'absorption peuvent être utilisés s'ils sont connus.
- Il faut considérer au moins une réflexion ($n \geq 1$). Dans les zones urbaines denses («canyons urbains»), il est recommandé de calculer des réflexions relativement élevées de façon à tenir compte des réflexions multiples sur les façades des bâtiments et de l'augmentation du niveau qui en résulte.
- Il convient de tenir compte également des atténuations dues à la végétation éventuelle d'après l'annexe A (informative) de la norme ISO 9613-2 lorsqu'il s'agit de surfaces forestières selon la couverture du sol en mensuration officielle
- Les atténuations dues à d'éventuels sites industriels ou habitations d'après l'annexe A (informative) de la norme ISO 9613-2 ne seront pas prises en considération. Ces bâtiments ne doivent pas être généralisés: ils doivent être modélisés en tant qu'objets 3D distincts sur la base de leurs plans et de leurs hauteurs respectives.

Lorsqu'une température différente de la température de référence est indiquée pour le calcul des émissions, il suffit généralement de modifier également la température dans le calcul de la propagation (cf. point 2.6).

3.3 Effets météorologiques

La méthode de calcul de la propagation du bruit décrite dans la norme ISO 9613-2 prend en compte l'influence des conditions météorologiques (situation des vents, inversions thermiques). Pour que le calcul de la propagation intègre les conditions météorologiques locales moyennées sur un an, il est nécessaire de disposer de calculs de modèles ou de mesures météorologiques (profils de vent et de température). Bien qu'une modélisation soit en principe disponible pour l'ensemble de la Suisse [25], elle n'a pas encore été validée pour les calculs du bruit routier. **Il n'est donc pas nécessaire d'effectuer une**

correction météorologique (c.-à-d. $C_{met} = 0$; C_{met} selon la norme ISO 9613-2, équations n° 6). En revanche, le facteur K_{met} (équation n° 18) doit être pris en considération lors du calcul de l'effet d'obstacle²⁸. En cas de renonciation à la correction météorologique C_{met} selon la norme ISO 9613-2, on part du principe, en règle générale, que les conditions de propagation sont favorables.

²⁸ Les implémentations logicielles courantes ne permettent pas à l'utilisateur de modifier ce facteur.

4 Implémentations

Un Webtool sonROAD18²⁹ est disponible en ligne, comme pour sonRAIL³⁰et sonTRAM³¹. Cet outil contient également le convertisseur SWISS10, le modèle de conversion CPX, les spectres des émissions sous forme de tableau et de graphique ainsi que l'estimation des niveaux sonores maximums.

D'autres implémentations sont disponibles dans des programmes commerciaux de calcul du bruit en 3D. Pour ces logiciels, il convient de se référer aux déclarations de conformité des producteurs.

²⁹ <https://sonroad18.empa.ch>

³⁰ <https://sonrail.empa.ch>

³¹ <https://sontram.empa.ch>

5 Bibliographie

- [1] Heutschi K., Locher B., 2018 : sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm. Empa, Dübendorf. 195 p. www.bafu.admin.ch/sonROAD18
- [2] Ordonnance du 15 décembre 1986 sur la protection contre le bruit (OPB), RS 814.41, état le 7 mai 2019.
- [3] Norme internationale ISO 9613-2, 5.12.1996 (première édition) : Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2 : General method of calculation.
- [4] Manuel du bruit routier, *Aide à l'exécution pour l'assainissement*, Schgvanin G., Ziegler T., L'environnement pratique n° 0637, ASTRA et OFEV, décembre 2006.
- [5] Heutschi K., Locher B. 2018 : sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm – Kurzfassung. Empa, 09.07.2018. www.bafu.admin.ch/sonROAD18
- [6] Heutschi K., Locher B. 2018 : sonROAD18 – Modèle de calcul du bruit routier – Version abrégée. Empa, 09.07.2018. www.bafu.admin.ch/sonROAD18
- [7] Heutschi K., Locher B. 2018 : sonROAD18 – Modello di calcolo per il rumore stradale – versione ridotta. Empa, 09.07.2018. www.bafu.admin.ch/sonROAD18
- [8] JRC Reference Report, *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*, 2012
- [9] Office fédéral de la protection de l'environnement (éd.) 1987 : *Modèle de calcul de bruit du trafic routier pour ordinateur*. 1^{re} partie : Manuel d'utilisation du logiciel StL-86. Berne. Cahiers de l'environnement, n° 60.
- [10] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (éd.) 1995 : *Bruit du trafic routier : Correction applicable au modèle de calcul du trafic routier*. Informations concernant l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB), n° 6. Berne. L'environnement pratique.
- [11] Heutschi K. 2004 : *SonRoad – Modèle pour le calcul du bruit routier*. Office fédéral de l'environnement, de la forêt et du paysage (éd.), Berne. Cahiers de l'Environnement, n° 366.
- [12] Office fédéral de topographie swisstopo (éd.) 2021 Catalogue des objets swissTLM^{3D} 1.9, <https://www.swisstopo.admin.ch/fr/geodata/landscape/tlm3d.html>
- [13] Directive ASTRA 13012 Postes de comptage du trafic, version 1.05. Office fédéral des routes (éd.), Berne. 24 p.
- [14] Office fédéral des transports et Office fédéral de l'environnement (éd.), octobre 2010 : *Liste de contrôle Environnement pour les installations ferroviaires non soumises à l'EIE*. Berne.
- [15] Heutschi K. 2020 : sonROAD18 – *Berechnungsmodell für Strassenlärm – Weiterentwicklungen und Ergänzungen*. Empa. www.bafu.admin.ch/sonROAD18
- [16] Norme VSS 40 040b : Projets, Bases. Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS). Édition mars 2019.
- [17] Ordonnance du DETEC du 28 septembre 2001 sur les zones 30 et les zones de rencontre, RS 741.213.3, état le 1^{er} janvier 2021.
- [18] Ordonnance du 13 novembre 1962 sur les règles de la circulation routière (OCR), RS 741.11, état le 20 mai 2021.
- [19] Règle suisse SNR 640 436 : Enrobés et couches de roulement semi-denses. Spécifications, exigences, conception et exécution. Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS). 2013.

-
- [20] OFROU et OFEV 2013 : Annexe 1b au Manuel du bruit routier, *Belagskennwerte – Anwendungshilfe für die Belagsakustik*
- [21] Grolimund + Partner AG 2017 : Rapport *Aktualisierung Belagskennwerte 2016 im Innerortsbereich*.
- [22] OFROU et OFEV 2013 : Annexe 1c au Manuel du bruit routier, *Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen*
- [23] Bühlmann E., Hammer E. 2020 : Projektbericht Ermittlung von CPX-Standardspektren für sonROAD18. Grolimund + Partner AG (Hsg). www.bafu.admin.ch/sonROAD18
- [24] Rapport technique ISO/TR 17534-3, *Acoustics — Software for the calculation of sound outdoors — Part 3: Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2 in software according to ISO 17534-1*, 15.1.2015 (première édition).
- [25] Wunderli J.M. 2011 : Aufbereitung von flächendeckenden Grundlagen für die Schallausbreitungsmodellierung in den Bereichen Meteorologie und Bodeneigenschaften. N° Empa 459 348.
- [26] ASTRA Documentations-IT 65 021, Verkehrsmonitoring VMON, Anwendungshandbuch, Ausgabe 2016, Version 2.2.0.

Annexe 1 Schéma des catégories de véhicules SWISS10

Figure 3

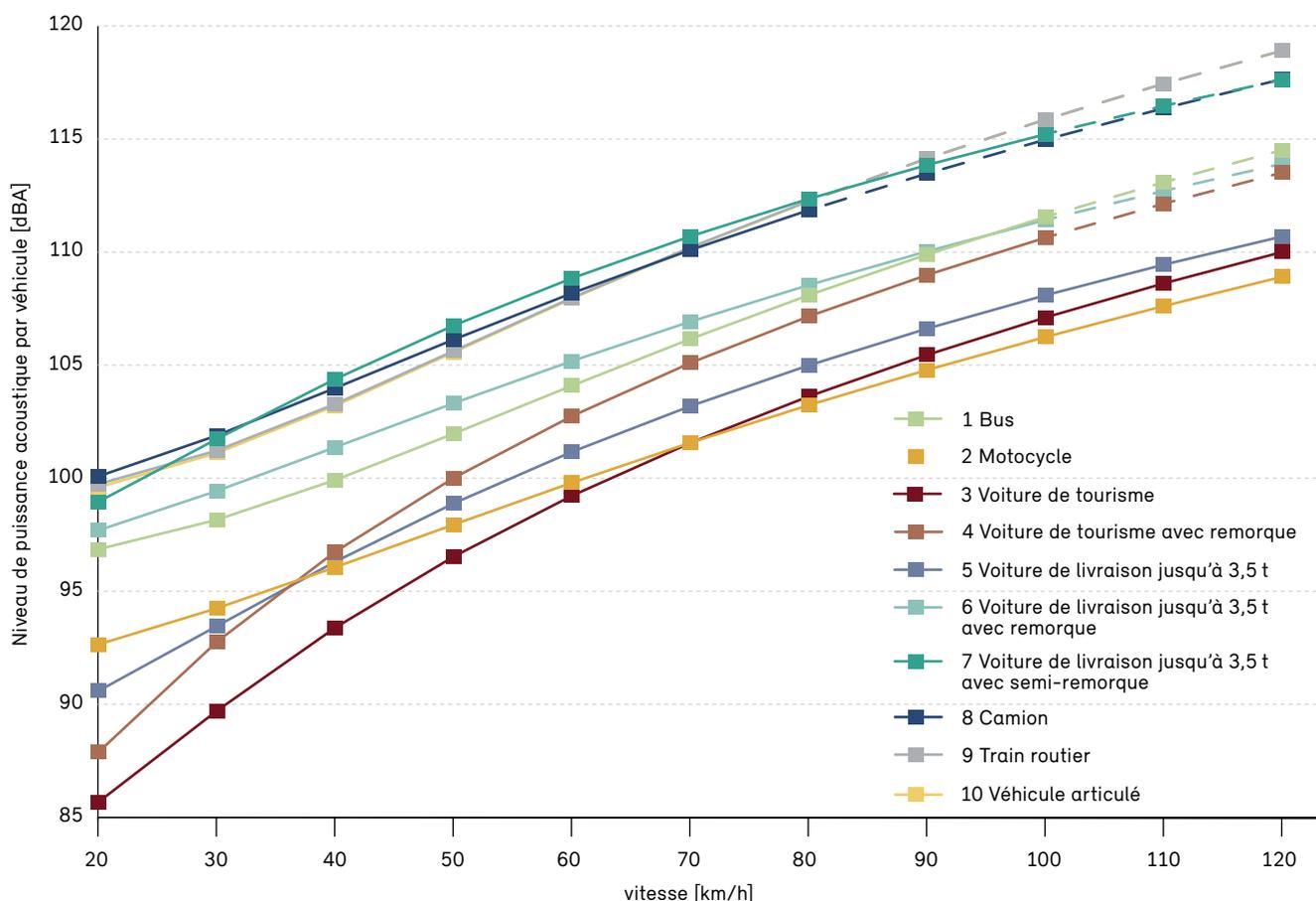
Schéma de classification des véhicules selon SWISS10*D'après [26], point 4.4.1.1, tab. 4, p. 59.*

1		Bus
2		Motocycle
3		Voiture de tourisme
4		Voiture de tourisme avec remorque
5		Voiture de livraison
6		Voiture de livraison avec remorque
7		Voiture de livraison avec semi-remorque
8		Camion
9		Train routier
10		Véhicule articulé

Annexe 2 Niveau d'émission moyen

Le graphique ci-dessous indique le niveau de puissance acoustique moyen pondéré A pour les catégories de véhicules SWISS10 n° 1 à 10³², en fonction de la vitesse. Pour certaines catégories de véhicules, à partir de 80 km/h ou de 100 km/h, il s'agit d'extrapolations (cf. point 2.3 et tab. 6). Les puissances acoustiques ont été calculées pour les conditions de référence (revêtement de référence ACMR8 et température de l'air de 10 °C).

Figure 4
Niveau de puissance acoustique moyen pondéré A en fonction de la vitesse, pour les catégories de véhicules SWISS10



32 Avec propulsion conventionnelle, c.-à-d. avec moteur à combustion

Annexe 3 Corrections spectrales standard du revêtement pour une vitesse de 50 km/h

Le graphique représentant les corrections standard du revêtement est disponible dans le document [15], point 6.19, p. 58.

Tableau 9

Corrections spectrales standard du revêtement pour une vitesse de 50 km/h, en [dB].

Les bandes de tiers d'octave manquantes ont été ajoutées (en bleu : bandes de tiers d'octave du mesurage CPX normé).

Fréquence [Hz]	Valeur KB [dB], 50 km/h												
	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
50	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
63	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
80	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
100	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
125	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
160	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
200	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
250	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
315	-5.8	-5.4	-4.9	-4.1	-3.1	-2.5	-1.5	-0.6	0.2	1.0	1.8	3.3	4.9
400	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.5	1.2	2.3	3.4
500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	3.3
630	-6.9	-4.4	-2.6	-1.6	-1.0	-0.7	-0.6	-0.2	0.7	1.9	3.0	4.3	5.5
800	-15.0	-12.1	-9.3	-6.5	-4.0	-2.5	-1.5	-0.7	0.1	1.1	1.9	3.0	3.9
1000	-15.4	-13.2	-10.7	-7.5	-4.7	-2.6	-0.7	0.6	1.6	2.4	3.3	4.0	4.8
1250	-11.4	-10.3	-9.0	-6.7	-4.3	-2.5	-0.7	0.7	1.7	2.7	3.6	4.4	5.2
1600	-12.0	-10.8	-9.4	-7.2	-4.3	-2.1	-0.1	0.6	1.0	1.5	2.1	2.4	2.7
2000	-14.0	-12.2	-10.2	-7.5	-4.6	-2.0	0.1	0.5	0.8	1.1	1.4	1.6	1.7
2500	-15.5	-12.8	-10.1	-7.2	-4.3	-2.3	-0.8	-0.2	0.0	0.7	1.4	1.7	2.3
3150	-16.3	-13.9	-11.3	-8.3	-5.6	-3.6	-1.8	-0.4	0.3	1.0	1.7	2.0	2.5
4000	-14.9	-12.9	-10.6	-7.7	-5.1	-3.0	-1.2	0.0	0.6	1.0	1.5	1.7	1.9
5000	-11.5	-9.8	-7.9	-5.7	-3.8	-2.3	-0.9	-0.2	0.1	0.9	1.6	2.0	2.4
6300	-11.5	-9.8	-7.9	-5.7	-3.8	-2.3	-0.9	-0.2	0.1	0.9	1.6	2.0	2.4
8000	-11.5	-9.8	-7.9	-5.7	-3.8	-2.3	-0.9	-0.2	0.1	0.9	1.6	2.0	2.4
10000	-11.5	-9.8	-7.9	-5.7	-3.8	-2.3	-0.9	-0.2	0.1	0.9	1.6	2.0	2.4

Annexe 4 Corrections spectrales standard du revêtement pour une vitesse de 80 km/h

Le graphique représentant les corrections standard du revêtement est disponible dans le document [15], point 6.20, p. 59.

Tableau 10

Corrections spectrales standard du revêtement pour une vitesse de 80 km/h en [dB]

Les bandes de tiers d'octave manquantes ont été ajoutées (en bleu : bandes de tiers d'octave du mesurage CPX normé).

Fréquence [Hz]	Valeur KB [dB], 80 km/h												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
50	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8	
63	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8	
80	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8	
100	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8	
125	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8	
160	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8	
200	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8	
250	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8	
315	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.7	3.5	3.8	
400	0.8	0.9	0.9	0.8	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6	2.3	3.0	3.3	
500	0.7	0.9	0.8	0.5	-0.1	0.1	0.5	0.7	1.2	2.1	3.1	3.6	
630	0.1	0.5	0.6	0.4	-0.3	0.1	1.0	1.6	2.1	3.2	4.1	4.4	
800	-5.1	-4.2	-2.7	-1.2	-0.2	0.4	1.3	2.1	2.7	3.6	4.5	4.9	
1000	-5.1	-5.1	-4.5	-3.3	-2.2	-1.5	-0.6	0.4	1.4	2.7	4.3	5.5	
1250	-6.3	-6.2	-5.9	-4.5	-2.9	-1.8	-0.1	1.5	2.4	3.3	4.8	5.7	
1600	-6.3	-6.3	-6.1	-4.7	-2.8	-1.7	-0.6	0.3	1.1	1.5	2.2	3.0	
2000	-6.8	-6.5	-6.2	-5.0	-3.0	-1.8	0.1	1.4	2.0	2.2	2.7	3.2	
2500	-7.3	-7.0	-6.5	-5.4	-3.6	-2.7	-1.7	-0.9	-0.5	-0.4	0.6	2.0	
3150	-7.2	-6.8	-6.4	-5.4	-3.5	-2.4	-0.5	1.0	1.5	1.5	2.1	2.6	
4000	-5.9	-5.3	-4.9	-3.9	-2.2	-1.0	2.0	3.8	4.0	3.7	3.7	3.3	
5000	-5.7	-4.7	-4.2	-3.0	-1.4	-0.6	0.0	1.8	2.4	1.9	2.0	2.2	
6300	-5.7	-4.7	-4.2	-3.0	-1.4	-0.6	0.0	1.8	2.4	1.9	2.0	2.2	
8000	-5.7	-4.7	-4.2	-3.0	-1.4	-0.6	0.0	1.8	2.4	1.9	2.0	2.2	
10000	-5.7	-4.7	-4.2	-3.0	-1.4	-0.6	0.0	1.8	2.4	1.9	2.0	2.2	

Annexe 5 Affectation du facteur de sol G à la couverture du sol

Le tableau 11 attribue à chaque type de couverture du sol un facteur de sol G (« Ground factor G »), conformément à swissTLM^{3D}, Feature Class TLM_BODENBEDECKUNG. Des types d'objet définis pouvant se chevaucher, il prescrit un facteur de sol G pour les types de couverture du sol combinés.

Le facteur de sol G est défini dans la norme ISO 9613-2, point 7.3.1, p. 5 [3]. Il décrit la porosité du sol ($0.0 \leq G \leq 1.0$). Une valeur de 0.0 désigne un sol dur

(c.-à-d. acoustiquement dur) et une valeur de 1.0, un sol poreux. Le facteur de sol est un facteur d'influence qui permet de déterminer l'effet de sol A_{gr} (cf. équation (9) en combinaison avec le tab. 3 de la norme ISO 9613-2).

L'affectation correspond au tableau 3, p. 5, du rapport Empa *Aufbereitung von flächendeckenden Grundlagen für die Schallausbreitungsmodellierung in den Bereichen Meteorologie und Bodeneigenschaften* [25].

Tableau 11

Affectation du facteur de sol G à chaque type de couverture du sol et aux types de couverture combinés se chevauchant, conformément à swissTLM^{3D} (les types de couverture du sol en rouge ne doivent pas se chevaucher)

	Rochers	Cours d'eau	Forêt arbustes/ buissons	Roches meubles	Glacier	Plans d'eau	Zone humide	Forêt	Forêt ouverte
	1	5	6	7	9	10	11	12	13
1 Rochers	0.0		0.0					0.7	0.7
5 Cours d'eau		0.0			0.0		0.7		
6 Forêt arbustes/ buissons	0.0		1.0	0.0			1.0		
7 Roches meubles			0.0	0.0	0.0		0.7		0.7
9 Glacier		0.0		0.0	0.0	0.0			
10 Plans d'eau					0.0	0.0	0.7		
11 Zone humide		0.7	1.0	0.7		0.7	1.0	1.0	1.0
12 Forêt	0.7						1.0	1.0	
13 Forêt ouverte	0.7			0.7			1.0		1.0

Source: catalogue des objets swissTLM^{3D}, point 7.1, Feature Class TLM_BODENBEDECKUNG, fig. 1, p. 46, [12]