



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de
l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral des routes OFROU

Documentation

Édition 2017 V1.00

Mesurages CPX sur les routes nationales

Exécution, évaluation et utilisation

ASTRA 88010

ASTRA OFROU USTRA UVIAS

Impressum

Auteur(s) / groupe de travail

Yves Pillonel	(OFROU SSI, président)
Marguerite Trocmé	(OFROU SSI)
Erik Bühlmann	(Grolimund + Partner AG, Berne)
Tina Saurer	(Grolimund + Partner AG, Berne)
Sebastian Egger	(Grolimund + Partner AG, Berne)

Begleitkommission

Frank Abbühl	(OFROU, FU)
Maria Balmer	(OFROU, FU)
Patrick Lochmatter	(OFROU, EP F2)
Michael Gerber	(OFEV)
Laurent Graber	(B+S AG)

Traduction	(version originale en allemand)
En français GmbH, Rütihof	(traduction française)

Éditeur

Office fédéral des routes OFROU
Division Réseaux routiers N
Standards et sécurité de l'infrastructure SSI
3003 Berne

Diffusion

Le document est téléchargeable gratuitement sur le site www.astra.admin.ch.

© ASTRA 2017

Reproduction à usage non commercial, autorisée avec indication de la source.

Table des matières

	Impressum	2
1	Introduction	5
1.1	Contexte & données du problème	5
1.2	Objectif du document	5
1.3	Domaine d'application	6
1.4	Normes et documents de base	6
1.5	Destinataires	7
1.6	Entrée en vigueur et modifications.....	7
2	État de la recherche	8
3	Procédure en fonction de la problématique	10
4	Détermination des propriétés acoustiques des revêtements pour une utilisation lors de projets	11
4.1	Exécution des mesurages.....	11
4.2	Analyse des données et conversion en StL-86+	12
4.3	Traitement et livraison des données	14
4.3.1	Calcul des valeurs de qualité acoustique de revêtement pour trafic mixte.....	16
4.3.2	Représentation en couleurs des segments de 20 m.....	16
4.3.3	Formation de sections acoustiques homogènes.....	17
4.3.4	Calcul de la différence entre les axes directionnels.....	19
4.3.5	Livraison des données	20
4.4	Application dans la pratique	20
5	Monitoring du revêtement	21
5.1	Exécution des mesurages.....	21
5.2	Programme de mesurages recommandé	22
5.3	Analyse des données	22
5.4	Traitement et livraison des données	24
	Annexes	27
	Glossaire	43
	Bibliographie	45
	Liste des modifications	47

1 Introduction

1.1 Contexte & données du problème

La méthode CPX (close proximity) permet de déterminer les propriétés acoustiques des revêtements routiers par un mesurage en champ proche du bruit de roulement produit sur la chaussée, de manière continue et directe. La majorité des mesurages effectués par l'OFROU le sont dans le cadre de projets de protection contre le bruit, de monitoring pour la vérification de la qualité acoustique des revêtements, ainsi que dans des projets de recherche sur les revêtements de chaussées phonoabsorbants.

La méthode de réalisation des mesurages CPX a été décrite lors de la mise à jour du Manuel du bruit routier (Annexe 1c, créée en 2009, version 31.7.2013 [1] – *en allemand*). Ce document se fonde sur l'état de la normalisation qui prévalait à ce moment-là (ISO FDIS 11819-2 :2000 [5]). Dans l'intervalle, de nouvelles normes relatives à la méthode CPX ont été publiées (ISO FDIS 11819-2:2016 [6], ISO/TS 11819-3:2016 [7], ISO/DTS 13471:2016 [8]). De plus, divers projets ont été réalisés sur mandat de l'OFROU, à des fins de recherche en matière de collecte et d'analyse des données (OFROU 2010/014 Projet de recherche EP 5 [11]) ainsi que de leur traitement et présentation (Projets de protection contre le bruit des filiales OFROU – recherche acoustique associée [12]). Les documents/manuels existants présentent par conséquent des différences avec les nouvelles normes.

Les données CPX ont déjà été utilisées dans de nombreux projets pour déterminer les émissions et fixer les corrections de revêtements applicables aux modèles. Pour cela, diverses méthodes de traitement des données ont été appliquées, par exemple la constitution de segments de 100 m avec des valeurs classées, la formation de tronçons acoustiques homogènes à l'aide de méthodes statistiques telles que le SNHT (Merki et al., 2014 [13]) ou le lissage médian. Le défi dans le traitement des données réside dans la nécessité d'une forte agrégation des données d'émissions sonores, afin de pouvoir les manier aisément, tout en tenant compte de la variabilité acoustique des revêtements routiers. Il est également nécessaire de procéder à une agrégation uniforme des données des différentes voies de circulation et directions. De plus, il n'existe pas de standard définissant la manière de collecter et d'utiliser les données en fonction des différentes situations.

En résumé, trois problématiques se présentent:

- (1) Un décalage est apparu entre les documents/manuels existants et les nouvelles normes;
- (2) Dans les nouvelles normes, certains aspects de la méthode de mesurage n'ont pas été définis, de sorte qu'une instruction de mise en œuvre uniforme des mesurages sur les routes nationales manque actuellement;
- (3) Les spécifications pour le traitement des résultats des mesurages sont actuellement manquantes, alors qu'elles sont une condition préalable à une utilisation uniforme des données dans les projets.

1.2 Objectif du document

Le présent document consigne les nouveaux acquis et définit la méthode d'exécution et d'analyse des mesurages CPX sur les routes nationales. Grâce à cette documentation, il est possible d'assurer l'exécution et l'analyse des mesurages CPX d'une manière homogène et standardisée. En outre, une méthode de traitement et de livraison des données spécifique à chaque problématique est recommandée.

Ce document est conçu selon le principe d'un livre de cuisine. En fonction de la problématique, il est possible de consulter le chapitre correspondant (cf. chapitre 3).

- (1) Détermination des propriétés acoustiques des revêtements pour une utilisation dans le cadre de projets

Objectif: recommandation pour uniformiser l'exécution, l'analyse et le traitement des mesurages CPX destinés à une utilisation dans des projets. Les données doivent être préparées et agrégées de façon à ce que les résultats constituent une aide au calcul des corrections de revêtement dans le contexte de la détermination du bruit. Il ne s'agit par contre pas d'élaborer des instructions détaillées à l'attention des bureaux d'ingénieurs pour déterminer et utiliser les valeurs Kb. Celles-ci doivent être tirées du manuel technique Tracé/Environnement [10] et du Manuel du bruit routier [2].

- (2) Monitoring du revêtement

Objectif: recommandation pour l'exécution et l'analyse uniformes des mesurages CPX en vue d'une détermination détaillée des propriétés acoustiques des revêtements et de leur altération au fil du temps. La documentation comporte également une proposition de programme de mesurages CPX sur plusieurs années, différencié selon qu'il s'agisse de la pose de revêtements dits conventionnels ou innovants.

1.3 Domaine d'application

Les recommandations figurant dans le document s'appliquent à l'exécution et à l'analyse des mesurages CPX sur les routes nationales. En principe, ces recommandations peuvent être utilisées pour des mesurages CPX sur d'autres routes, mais sous la responsabilité des cantons et des communes. Une liste détaillée des avantages et inconvénients, ainsi que l'utilité des différentes méthodes de mesurages CPX, SPB (statistique au passage) et SEM (mesurages d'émission par échantillonnage) pour répondre aux différentes problématiques, sont disponibles dans l'annexe IV.

1.4 Normes et documents de base

Il faut en principe utiliser la version actuelle des normes. Toutes les normes mentionnées ci-dessous peuvent être commandées auprès des institutions respectives.

Fig. 1.1 Normes et documents de base

Document	Année de publication	Thème	Contenu
ISO/FDIS 11819-2 [6]	2016	Norme CPX	Exigences applicables aux systèmes de mesure, aux méthodes et procédures de mesure, aux calculs de correction et à l'appréciation de l'incertitude
ISO/TS11819-3 [7]	2016	CPX Spécifications relatives aux pneus d'essai	Exigences pour la mise en service, le stockage et la durée d'utilisation, pour la documentation, correction de la dureté
ISO/TS 13471-1 [8]	2016	CPX Correction de température	Correction de la température en fonction de la catégorie de revêtement et de la vitesse
Manuel du bruit routier annexe 1c (<i>en allemand</i>) [1]	2013	Conversion CPX-SPB	Modèle de conversion CPX, vitesse de référence de 50 km/h et 80 km/h, catégories voitures de tourisme (N1) et poids lourds (N2)

1.5 Destinataires

Cette documentation s'adresse à tous les utilisateurs, indépendamment de leur expérience dans le relevé et l'évaluation de données acoustiques de revêtement. Il s'agit, d'une part, de l'OFROU (gestionnaires du patrimoine et chefs de projet) et d'autre part, des bureaux d'ingénieurs qui effectuent les mesurages de bruit et réalisent les projets de protection contre le bruit.

1.6 Entrée en vigueur et modifications

Le présent document entre en vigueur le 20.09.2017. La « Liste des modifications » se trouve en page 47.

2 État de la recherche

La Commission des normes ISO TC43/SC1/WG33 s'occupe depuis les années 90 de la normalisation de la procédure CPX. Le document interne de la commission (ISO 3^e CD 11819-2 [5]), élaboré en 2000, a longtemps été considéré comme une norme pour les mesures CPX, bien qu'il n'ait jamais été publié officiellement. Peu avant la publication prévue du projet de norme, les pneus de référence préconisés dans la norme ont disparu du marché. Par conséquent, le travail de la commission s'est porté sur le choix de nouveaux pneus de référence disponibles sur le long terme (par exemple Schwanen et al. (2007) [14]). Lorsque la méthode de mesurage CPX se généralisa de plus en plus en Suisse à partir de 2008, les nouveaux pneus de référence pouvaient déjà être utilisés. L'annexe 1c du Manuel du bruit routier [1], révisée en 2013, se fonde certes sur le document ISO 3^e CD 11819-2 de 2000, mais fixe déjà les pneus de référence choisis par la commission comme standard suisse. La Commission des normes ISO TC43/SC1/WG33 a encore précisé la méthode de mesurage sur la base de l'expérience acquise entre-temps et a publié en 2016 des documents normatifs complets (ISO/FDIS 11819-2 [6], ISO/CD TS11819-3 [7], ISO/DTS 13471-1 [8]), après un long processus de révision. En raison du long travail préalable à la publication et des connaissances acquises depuis les années 1990 sur la méthode CPX, il existe une divergence entre les anciens documents et les nouvelles normes publiées.

Malgré la normalisation des plus importants aspects techniques, la diversité des systèmes de mesurage à l'échelle internationale est grande. Il existe des systèmes avec remorques ouvertes et fermées tractées par véhicule, ainsi que des systèmes où le mesurage est effectué directement sur le véhicule. Quel que soit le système, il y a lieu de le protéger des bruits extérieurs, de ceux de l'appareillage lui-même ou du bruit du vent, afin qu'ils n'influencent pas les résultats. Dans le cas de remorques ouvertes et de systèmes automoteurs, il n'y a en principe pas de problèmes de bruits de vent reportés (Tonin et al. (2015) [15], Anfosso-Lédée & Kragh (2013) [16]), mais dans le cas de mesurages en condition de circulation réelles – comme c'est habituellement le cas sur les routes nationales – il faut compter avec des interférences. Pour éviter le bruit parasite, il est recommandé d'utiliser des systèmes fermés en circulation libre (ISO/FDIS 11819-2 [6]). Le choix des pneus de référence et l'application de la norme ISO/CD TS11819-3 [7] pour corriger les influences de la température et la dureté du caoutchouc sont libres, mais d'une importance capitale dans la mise en œuvre du procédé CPX en raison des importants écarts constatés entre les différents pneus (Hammer et al. (2016) [17], Bühlmann et al. (2013) [18], Sandberg & Ejsmont (2007) [19], Sandberg & Glaeser (2008) [20]). L'application de la norme ISO/CD TS11819-3 est donc recommandée dans l'ISO/FDIS 11819-2 [6], car elle fournit des corrections spécifiques en fonction de la dureté et de la température des pneumatiques de référence. Non corrigées, ces influences constituent une source d'erreur majeure pour les mesurages CPX (par exemple Bühlmann et al. (2013) [18], Bühlmann & Ziegler (2011) [21], Bühlmann & van Blokland (2014) [22]). Il est également admis que les propriétés acoustiques des revêtements routiers peuvent varier latéralement sur la voie de circulation. Pour l'obtention de la plus grande précision et représentativité possibles, la norme actuelle ISO/FDIS 11819-2 [6] recommande donc le mesurage des deux traces de pneus. Afin de garantir la comparabilité des mesurages CPX sur les routes nationales, il convient de clarifier ces aspects du système de mesurage, de la procédure de mesurage et de l'évaluation des données.

Un autre besoin de clarification concerne la conversion du niveau CPX en champ proche en valeurs qui peuvent être rapportées aux modèles d'émissions nationaux. Habituellement, une corrélation entre les deux méthodes de mesurage CPX et SPB est recherchée. La méthode SPB s'y prête particulièrement bien car elle présente un degré relativement élevé de normalisation [21] et restitue l'influence statistique du revêtement pour les passages isolés de véhicules. Dans la plupart des cas, des modèles de conversion linéaire sont utilisés (p. ex. Danemark, France, Italie, Pays-Bas, États-Unis, Pologne, Suède, Royaume-Uni, Suisse) dont la qualité est généralement considérée comme bonne (p. ex.

Bendtsen et al. (2013) [23], van Beck & Hoogwerff [24], Skov (2016) [25], Licitra et al. (2007) [26] et (2016) [27], Morgan et al. (2009) [28], Donovan & Lodico (2009) [29], Anfosso-Lédée et al. (2014) [30]). Comme il n'est pas possible de se fonder sur la même corrélation linéaire pour chaque classe de revêtement, l'OFROU a commandé une étude ayant comme objectif d'établir une correspondance spectrale. Les résultats de cette étude se trouvent dans le rapport MBBM 2016 [12]. Cependant, pour pouvoir établir la nouvelle méthode, d'autres jeux de données indépendants sont recommandés pour sa validation.

3 Procédure en fonction de la problématique

Selon la problématique, différentes approches sont recommandées pour la collecte et l'analyse des données CPX.

Si des *propriétés acoustiques de revêtements* doivent être déterminées *pour une utilisation dans des projets*, des mesurages CPX peuvent être utilisés. Pour ce faire, l'état acoustique actuel de l'ensemble de la surface de la chaussée est relevé et évalué. Les données sont ensuite préparées de telle sorte que la modélisation des émissions sonores soit possible par un maniement simple.

S'il faut au contraire déterminer les propriétés acoustiques détaillées d'un revêtement et de leur évolution dans le temps, il faut appliquer la méthode du *monitoring CPX du revêtement*.

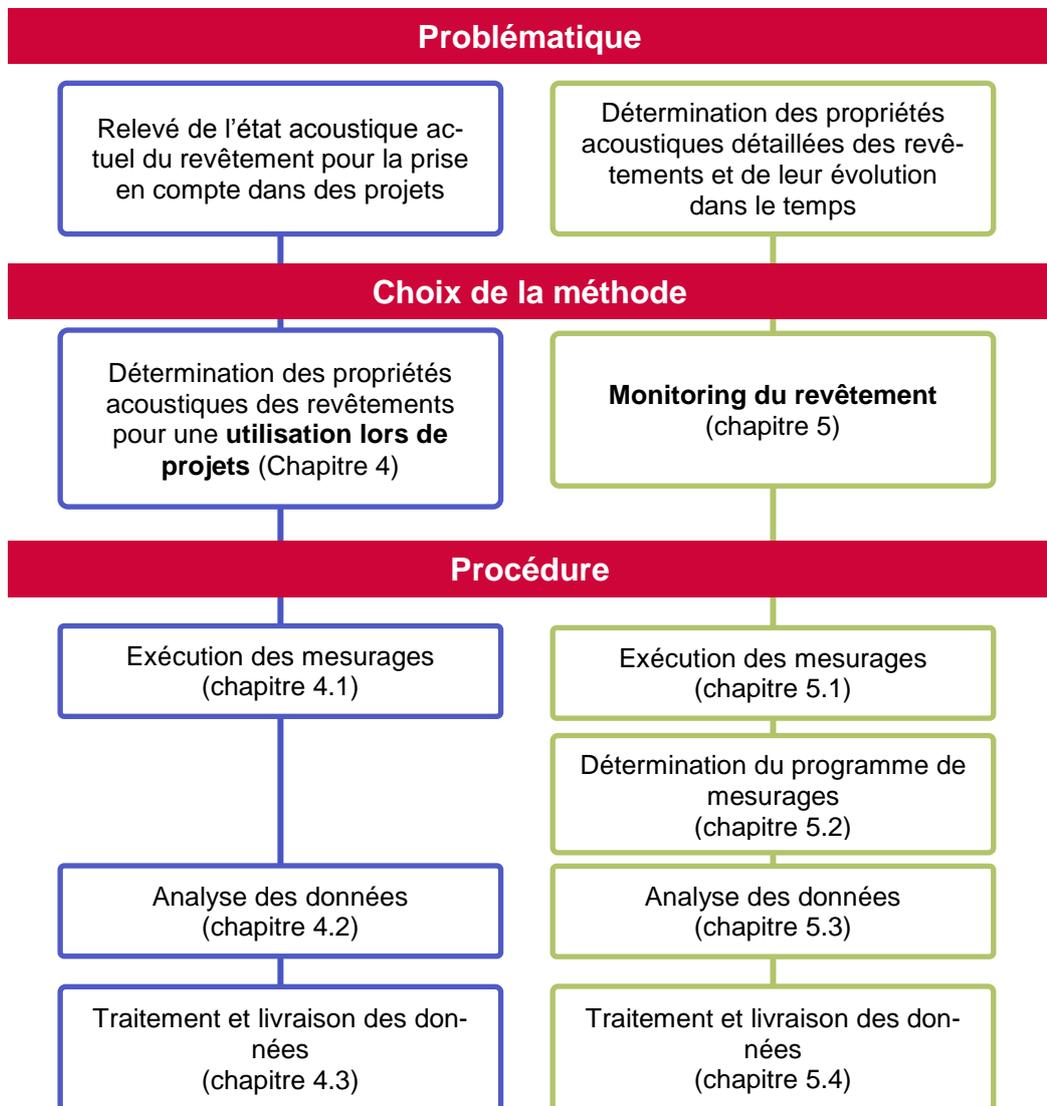


Fig. 3.1: Schéma de la procédure en fonction de la problématique lors de mesurages CPX

La structure de ce document se fonde sur les deux problématiques susmentionnées. En fonction de la problématique et des objectifs des mesurages CPX, les chapitres correspondants peuvent être consultés directement.

4 Détermination des propriétés acoustiques des revêtements pour une utilisation lors de projets

Si des mesures CPX sont effectués pour déterminer des corrections de revêtements en vue du calcul des niveaux sonores, l'état acoustique actuel de la surface de la chaussée est généralement relevé, évalué et représenté pour des tronçons entiers du réseau routier.

4.1 Exécution des mesurages

Le système utilisé pour le déroulement des mesurages CPX, incluant la préparation et la documentation, doit satisfaire aux exigences de la norme en vigueur [1]. En cas de mesurages effectués en conditions de circulation réelles, un système de remorque fermée doit être utilisé. L'emploi des pneumatiques et des procédures correctives spécifiés dans l'ISO/CD TS11819-3 [7] est obligatoire. Le tableau suivant présente les exigences principales pour l'exécution des mesurages.

Fig. 4.1: Exigences pour l'exécution des mesurages CPX

Normes, bases et corrections	ISO/FDIS 11819-2 [6] ISO/TS 11819-3 [7]
Vitesse lors du mesurage	80 km/h*
Plage de tolérance de la vitesse	±15% (pour chaque segment mesuré)
Périmètre	Les voies de circulation qui influencent les émissions dans le périmètre du projet
Température lors du mesurage (air)	5°C à 30°C
Nombre de trajets lors du mesurage	1 trajet par voie de circulation avec pneus de voiture de tourisme montés sur les deux côtés 1 trajet par voie de circulation avec pneus de poids lourds montés sur les deux côtés
Voies de circulation mesurées	Mesurages toujours dans la trace de roulement
Code de localisation	OFROU 10001 [3] Dans le cas des voies à sens de circulation séparés, un axe est défini pour chaque direction selon la clé d'identification SRB. «+» signifie: Sens de circulation = Direction de l'axe «-» signifie: Sens de circulation ≠ Direction de l'axe
Déroulement des mesurages pour plusieurs voies	Le premier trajet doit se dérouler à chaque fois sur la voie la plus proche de la berme centrale (cf. Fig. 4.2 et Fig. 4.3), toujours de manière continue. Chaque voie supplémentaire doit être relevée en parallèle.
Identification et marquage électronique relatif aux signaux acoustiques	Début/fin du tronçon mesuré, bruit parasite, décalages de voies, ponts, tunnels, chantiers
Le nombre de passages doit être répété jusqu'à ce que des mesurages valides puissent être effectués	Par exemple, en cas de fort trafic de jour, les mesurages peuvent être effectués le soir ou la nuit

* si la vitesse signalisée est inférieure à 80 km/h, il est recommandé d'effectuer les mesurages à 50 km/h

Afin de permettre une attribution claire des voies de circulation, elles devraient être désignées de manière analogue aux illustrations suivantes (Fig. 4.2 et Fig. 4.3). En principe, les voies sont toujours mesurées de l'intérieur (près de la berme centrale) vers l'extérieur (en direction de la voie normale ou des entrées/sorties). Les voies sont désignées le long de l'axe SRB par «+» (dans le sens de la direction de l'axe) et «-» (dans le sens contraire de la direction de l'axe) [3]. La voie située le plus au centre est appelée ±1 et toutes les autres voies s'écartant de la berme centrale avec un chiffre entier croissant.

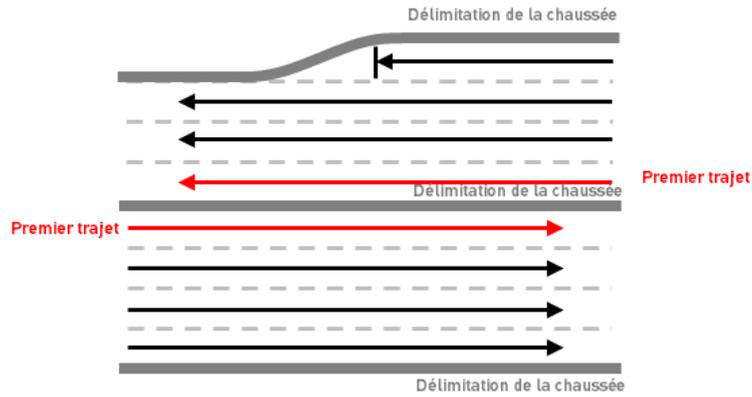


Fig. 4.2 Déroulement des mesurages sur plusieurs voies avec voie extérieure non continue.

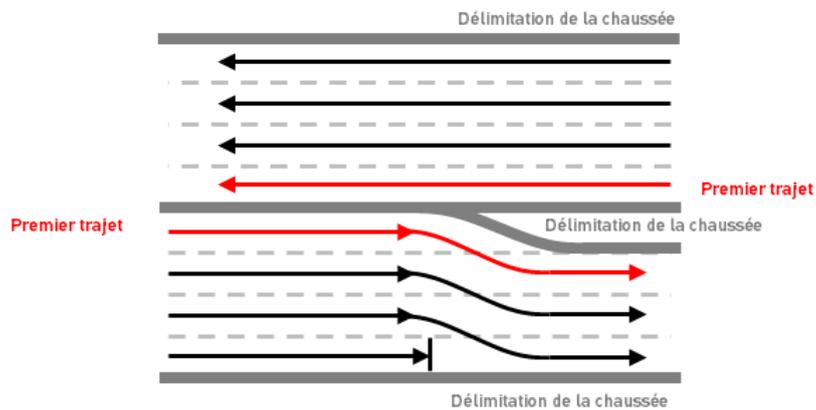


Fig. 4.3 Déroulement des mesurages sur plusieurs voies avec voie intérieure non continue.

Dans le cas d'une intégration des résultats dans MISTRA TRASSE, la numérotation et l'assignation des voies de circulation doivent être effectuées conformément au Manuel de saisie des données MISTRA TRASSE [31].

4.2 Analyse des données et conversion en StL-86+

Après l'exécution réussie de mesurages CPX, les résultats sont disponibles selon ISO/FDIS 11819-2 (E) [6] sous forme de niveau sonore en champ proche, par microphone et par huitième de seconde. Lors de l'analyse, ces données brutes sont d'abord localisées géographiquement (c'est-à-dire géoréférencées) à l'aide des coordonnées GPS collectées sur site. Elles sont ensuite agrégées énergétiquement en segments standards d'une longueur de 20m, en tenant compte des réflexions sonores de l'appareil et des écarts de vitesse, de température et de dureté du caoutchouc des pneus. Si plusieurs trajets de mesure ont eu lieu sur le même tronçon, ils entrent tous à poids égal dans le calcul d'un segment de 20 m (moyenne arithmétique). L'analyse des données est réglée de manière détaillée dans [6] [7] [8], qui visent une comparabilité internationale des données CPX. Enfin, les segments CPX de 20 m sont convertis en valeurs utilisables dans les différents modèles d'émission nationaux. En Suisse, cette conversion se fonde sur l'annexe 1c du Manuel du bruit routier. Il en résulte des valeurs qui décrivent la qualité acoustique du revêtement en référence au modèle d'émission sonore StL-86+ [1]. Le processus d'analyse des données est représenté dans la Fig. 4.4.

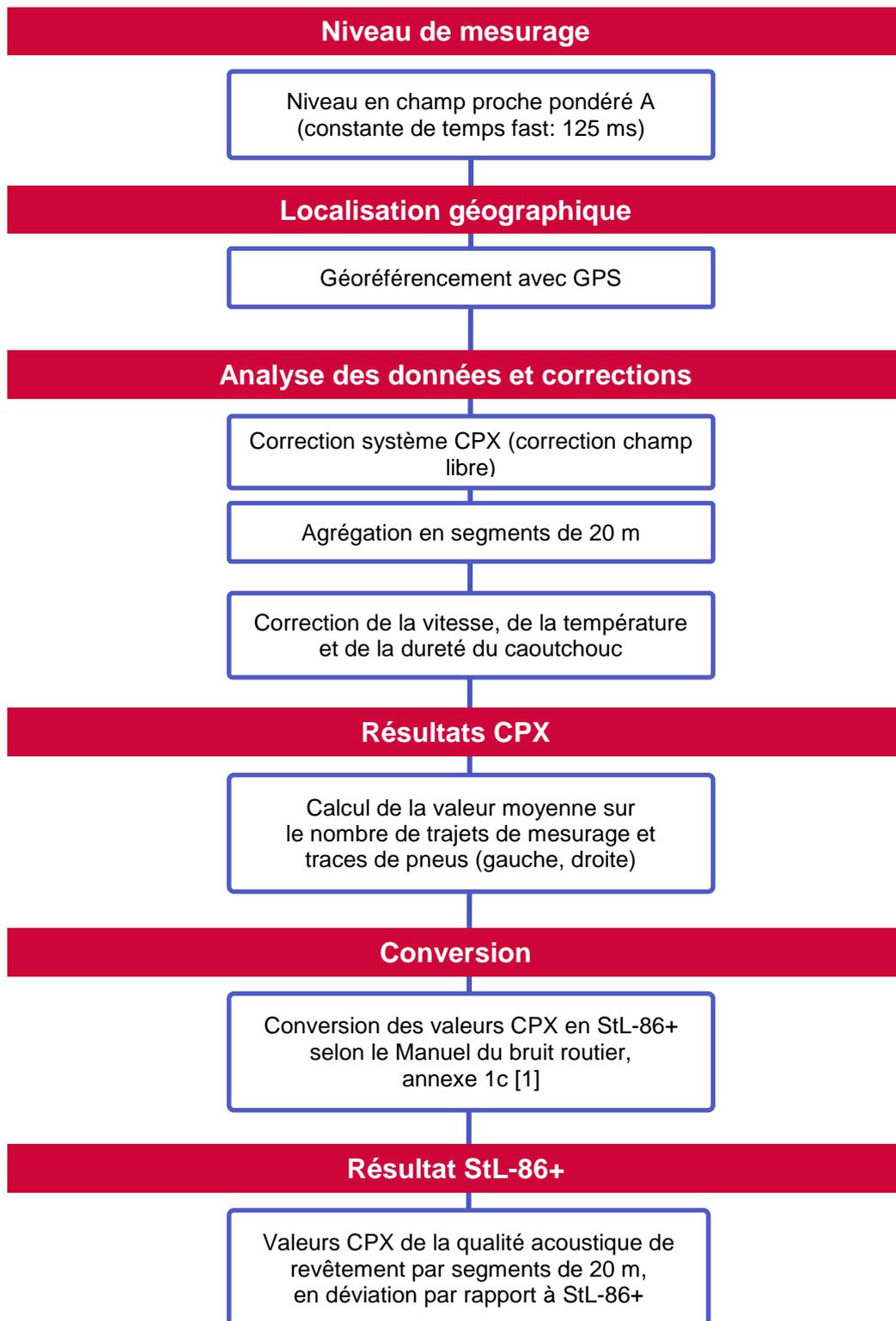


Fig. 4.4 Schéma de procédure d'analyse des données des mesurages CPX.

Fig. 4.5 Exigences pour l'analyse des données des mesurages CPX

Normes et bases	ISO/FDIS 11819-2 [6], ISO/TS 11819-3 [7], ISO/TS 13471-1 [8]
Géoréférencement	Voies parallèles à la berme centrale
Correction système CPX	ISO/FDIS 11819-2 [6]
Correction liée à la vitesse	ISO/FDIS 11819-2 [6]
Correction liée à la température	ISO/TS 13471-1 [8]
Correction liée à la dureté du caoutchouc	ISO/TS 11819-3 [7]
Segments de 20 m	ISO/FDIS 11819-2 [6]
Modèle de conversion des valeurs CPX en StL-86+	Manuel du bruit routier, annexe 1c [1]
Exclusion des segments présentant des résultats de mesurage non conformes aux normes (si nécessaire) et documentation	P. ex. différences de vitesse, galeries, passages à faune, sections de tunnel etc.

4.3 Traitement et livraison des données

Après l'analyse complète des données CPX, les valeurs de qualité acoustique de revêtement sont disponibles en segments de 20 m en référence au modèle StL-86+. Les segments de 20 m sont ensuite agrégés par un procédé statistique en tronçons acoustiquement homogènes, qui peuvent servir de base à l'évaluation acoustique des revêtements (cf. Chapitre 4.3.3 et [13]). Le défi du traitement des données est d'agréger le plus possible les données d'émissions sonores - afin de pouvoir les manier aisément - tout en prenant en compte la variabilité acoustique des revêtements routiers. Celle-ci dépend de la situation à l'immission, influencée par ex. par la distance entre le point d'immission et la source. Le traitement des données se déroule en deux étapes (cf. Fig. 4.6) :

- (1) Calcul de sections homogènes dans le tronçon de route étudié
- (2) Calcul de la différence entre les axes directionnels pour les sections acoustiquement homogènes établies à l'étape (1)

A l'étape (1), des sections acoustiquement homogènes sont formées le long de la route étudiée. La constitution de sections homogènes dans le tracé longitudinal est réalisée en deux niveaux de détail. Le degré de détail est contrôlé par deux écarts moyens minimaux différents (différence minimale des moyennes de deux sections homogènes adjacentes) utilisés pour séparer deux sections homogènes: différence moyenne > 1 dB pour un niveau de détail élevé; différence moyenne > 2 dB pour l'analyse plus fortement agrégée. À l'étape 2, les différences entre les axes directionnels sont analysées à l'intérieur des sections acoustiquement homogènes et, si nécessaire, indiquées. Pour cela, une différence de valeur moyenne >2 dB est considérée comme pertinente. Les données traitées sont ensuite livrées sous forme de deux plans distincts pour chaque degré d'agrégation. La procédure de traitement des données est décrite en détail ci-dessous.

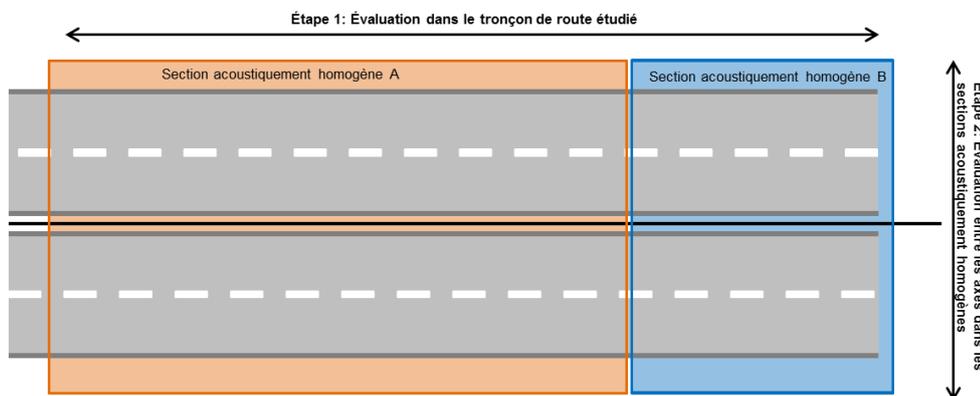


Fig. 4.6 Procédure de traitement des données.

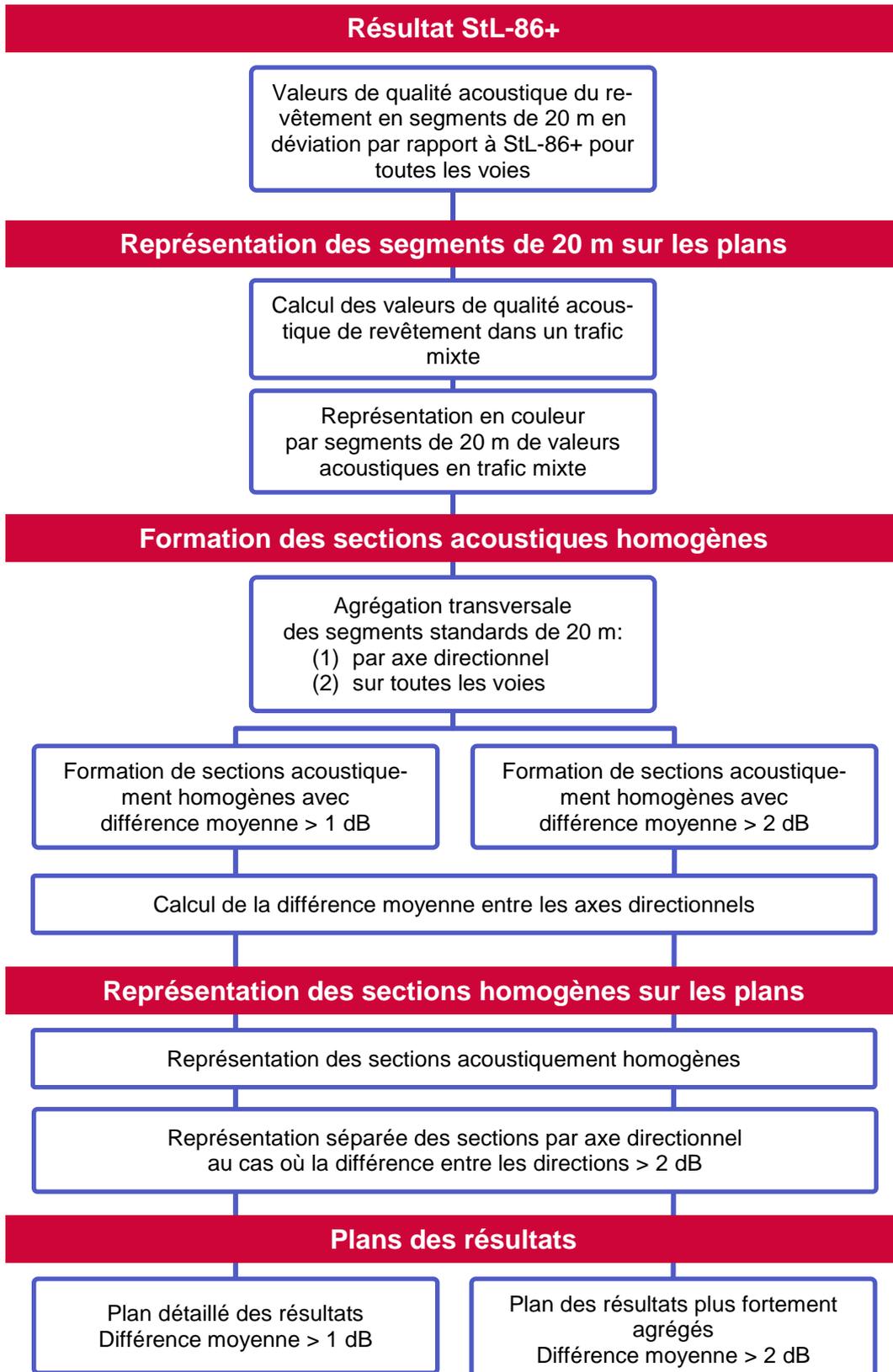


Fig. 4.7 Schéma de traitement des données des mesurages CPX.

Fig. 4.8 Principes de traitement et livraison des données

Calcul des valeurs de qualité acoustique de revêtement dans un trafic mixte	Part N2 = 15% (cf. aussi analyse de sensibilité en annexe VI)	Chapitre 4.3.1
Représentation en couleur des segments	selon modèle de légende	Chapitre 4.3.2
Calcul de sections homogènes	Différence moyenne > 1 dB ou > 2 dB longueur minimale de sections = 250 m	Chapitre 4.3.3
Calcul de sections homogènes	Différence moyenne > 2 dB longueur minimale de sections = 250 m	Chapitre 4.3.3
Calcul de la différence moyenne entre les axes directionnels	Représentation des résultats séparément par direction au cas où la différence moyenne > 2 dB.	Chapitre 4.3.4
Livraison du plan des résultats détaillés (différence moyenne > 1 dB)	Agrégation: différence moyenne > 1 dB	Annexe I
Livraison du plan des résultats fortement agrégés (différence moyenne > 2 dB)	Agrégation: différence moyenne > 2 dB	Annexe I
Livraison des données	Segments de 20 m, $L_{CPX,P}$ spectral, $L_{CPX,H}$ spectral, résultats StL-86+ par catégorie de véhicules et pour un trafic mixte (15% N2)	Chapitre 4.3.5

4.3.1 Calcul des valeurs de qualité acoustique de revêtement pour trafic mixte

Les valeurs de la qualité acoustique du revêtement pour chaque catégorie de véhicules (N1, N2) doivent être pondérées avec une part de trafic lourd standard (N2) de 15%, en tenant compte des parts respectives d'émission. Le modèle d'émission valable en Suisse doit être utilisé à cette fin. Le calcul est décrit en annexe III. L'analyse de sensibilité en annexe VI montre que les valeurs ne diffèrent que légèrement si on varie la part de trafic poids lourd de 5%, 10% ou 15%. Par conséquent, il n'est pas nécessaire d'utiliser les parts de trafic poids lourd effectives pour le calcul des valeurs de qualité acoustique de revêtement. La prise en compte d'un pourcentage de trafic poids lourd standard a l'avantage de permettre une comparaison des résultats des différents tronçons routiers.

4.3.2 Représentation en couleurs des segments de 20 m

Pour la détermination des propriétés acoustiques locales, les valeurs de qualité acoustique du revêtement par segments de 20 m pour un trafic mixte sont utilisées et représentées sur un plan. Pour la différenciation visuelle, les couleurs RGB énumérées dans la figure suivante peuvent être, par exemple, utilisées.

Fig. 4.9 Proposition de couleurs pour les valeurs de qualité acoustique de revêtement pour un trafic mixte par rapport au modèle d'émission STL-86+

R	G	B	Couleur	Valeurs de qualité acoustique de revêtement pour un trafic mixte en déviation par rapport à StL-86+ [dB(A)]
115	0	0		> 5.0
168	56	0		4.0 à 4.9
230	0	0		3.0 à 3.9
255	85	0		2.0 à 2.9
255	170	0		1.0 à 1.9
255	238	0		0.0 à 0.9
226	255	0		-0.1 à -0.9
191	255	94		-1.0 à -1.9
138	255	190		-2.0 à -2.9
64	255	239		-3.0 à -3.9
190	232	255		-4.0 à -4.9
0	197	255		-5.0 à -5.9
0	112	255		-6.0 à -6.9
0	77	168		-7.0 à -7.9
0	38	115		< -8.0
204	204	204		pas de valeur

4.3.3 Formation de sections acoustiques homogènes

Comme décrit précédemment, des sections acoustiquement homogènes sont formés dans une première étape dans le profil longitudinal de la route. Toutes les voies sont combinées puis analysées dans le sens longitudinal. Chaque modification statistique significative des propriétés acoustiques de la route, définie par une différence de valeur moyenne minimale, marque un changement de section (sections acoustiquement homogènes).

Pour la répartition statistique en sections acoustiquement homogènes, les valeurs de qualité acoustique du revêtement de toutes les voies mesurées transversalement par segment de 20 m sont dans un premier temps agrégées selon l'équation (1) en une moyenne arithmétique.

$$CPX_{Aggr} = \frac{1}{n} \sum_{f=1}^n CPX_f = \frac{CPX_1 + CPX_2 + \dots + CPX_n}{n} \quad \text{Éq. (1)}$$

n	Nombre de voies de circulation mesurées
f	Voie de circulation
CPX _{Aggr}	Valeur agrégée de la qualité de revêtement par segment de 20 m sur toutes les voies mesurées en trafic mixte en déviation de StL-86+ [dB (A)]
CPX _f	Valeur de qualité acoustique de revêtement par segment de 20 m pour un trafic mixte et pour chaque voie en déviation de StL-86+ [dB (A)]

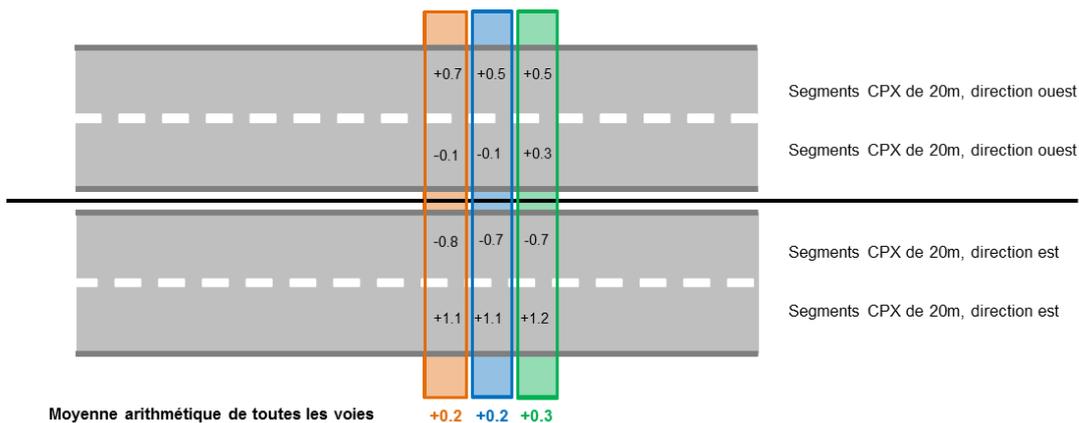


Fig. 4.10 Schéma pour l'agrégation transversale des valeurs de qualité de revêtement

Le Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) selon Alexandersson & Moberg (1997), utilisé pour l'identification de changements significatifs de valeur moyenne dans des séries de données, peut par exemple s'avérer approprié pour l'agrégation des segments CPX en sections acoustiquement homogènes. Les valeurs des segments de 20 m transversaux agrégés pour un trafic mixte représentent la base pour le calcul des sections acoustiquement homogènes. Pour la formation de sections acoustiquement homogènes, les break-points entre deux segments sont identifiés et examinés pour savoir si les valeurs moyennes entre les segments résultants avant et après le breakpoint diffèrent sensiblement. Le procédé est répété pour chaque nouveau segment, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'écart significatif des valeurs moyennes entre les segments ou que la longueur minimale spécifiée soit atteinte. Cette méthode de formation de sections acoustiquement homogènes est décrite en détail dans Merki et al. (2014) [13]. Des procédures statistiques alternatives peuvent être appliquées dans la mesure où elles présentent des résultats similaires.¹

¹ L'OFROU examine actuellement une standardisation de la procédure statistique.

Le degré de détail de l'évaluation des données est contrôlé par deux écarts de valeurs moyennes minimales: l'analyse des données plus fortement agrégées avec un écart de valeur moyenne > 2 dB donne des sections plus longues et plus hétérogènes (cf. Fig. 4.11); l'analyse des données plus détaillée avec un écart de valeur moyenne > 1 dB donne des sections plus courtes et plus homogènes (Fig. 4.12).

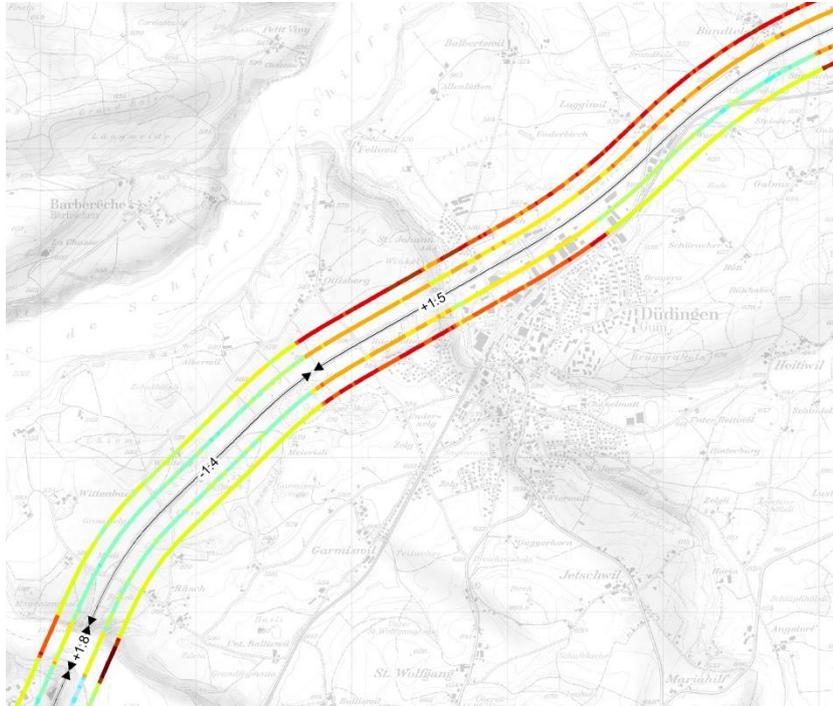


Fig. 4.11 Exemple d'un plan plus fortement agrégé avec un écart moyen > 2 dB.

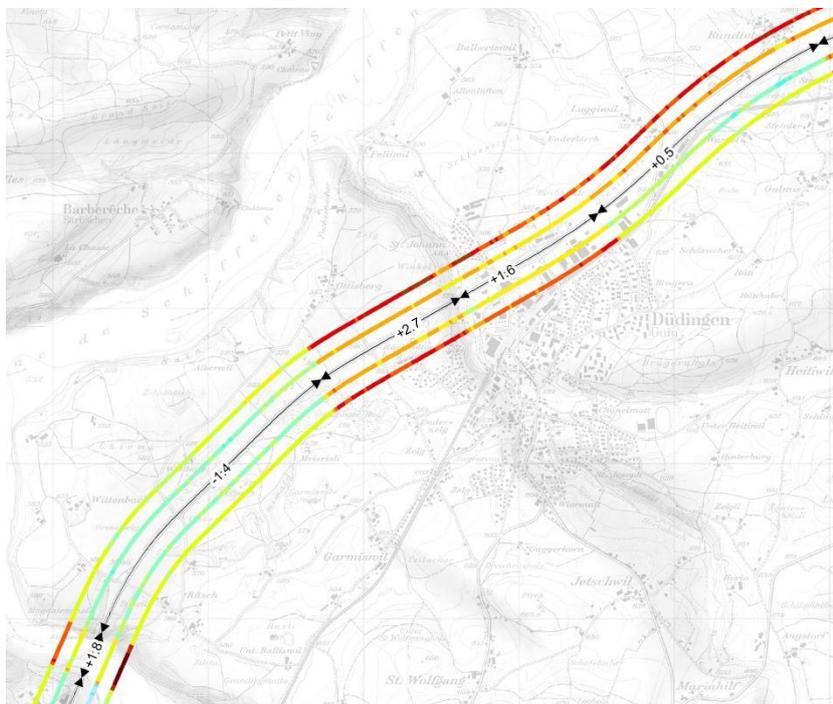


Fig. 4.12 Exemple d'un plan plus détaillé avec un écart moyen > 1 dB.

4.3.4 Calcul de la différence entre les axes directionnels

Selon la méthodologie décrite au chapitre 4.3, les valeurs moyennes pour chaque axe directionnel sont déterminées lors d'une deuxième étape dans les sections acoustiquement homogènes (cf. Fig. 4.13). Si, à l'intérieur d'une même section homogène, la différence acoustique entre les axes directionnels est de 2 dB ou plus, la moyenne arithmétique des valeurs de qualité acoustique de revêtement est alors spécifiée pour chaque axe directionnel (cf. Fig. 4.13).

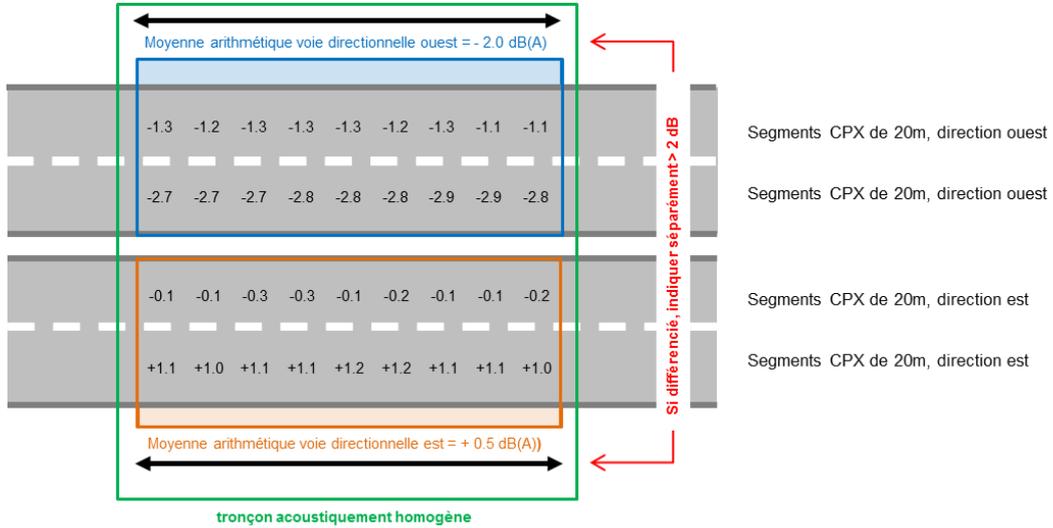


Fig. 4.13 Calcul des valeurs moyennes par axe directionnel.

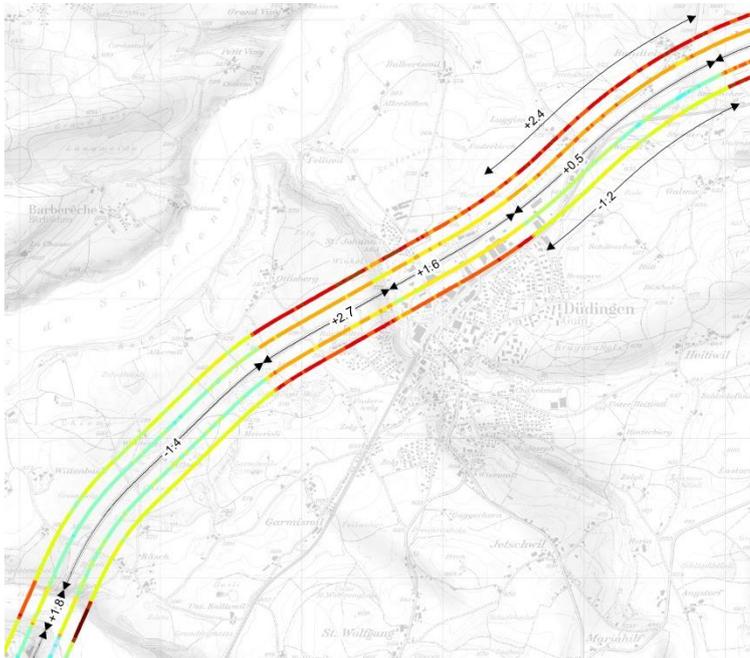


Fig. 4.14 Exemple de représentation de valeurs moyennes séparées par direction.

4.3.5 Livraison des données

Afin de pouvoir recourir au niveau d'agrégation le plus adapté en fonction également de la situation sonore à l'immission, le traitement et la livraison des résultats de mesurages CPX se font selon les deux niveaux d'agrégation de données. Par conséquent, il en découle un plan plus détaillé avec un écart moyen > 1 dB et un autre, plus fortement agrégé, avec un écart moyen > 2 dB. Les exigences de livraison des données sont répertoriées dans la Fig. 4.15.

Fig. 4.15 Livraison des données des propriétés acoustiques des revêtements pour une utilisation dans les projets

	Format	Contenus/attributs
Segments de 20 m	shapefile/excel	L _{CPX,P} , L _{CPX,H} , résultats StL-86+ par catégorie de véhicules et pour un trafic mixte (15% N2)
Sections homogènes détaillées différence moyenne > 1 dB	shapefile/excel	Trafic mixte 15% de part de trafic poids lourd
Sections homogènes plus fortement agrégées différence moyenne > 2 dB	shapefile/excel	Trafic mixte 15% de part de trafic poids lourd
Plan détaillé des résultats Différence moyenne > 1 dB	pdf	Résultats selon exemple de plan
Plan des résultats plus fortement agrégés Différence moyenne > 2 dB	pdf	Résultats selon exemple de plan

4.4 Application dans la pratique

Les plans de résultats disponibles après le traitement des données permettent un maniement aisé lors de la modélisation des émissions sonores, sans négliger la variabilité acoustique des revêtements perceptible au lieu d'immission. En fonction de l'éloignement entre la source et le récepteur, on peut utiliser soit le plan de résultats plus détaillés avec un écart moyen > 1 dB, soit le plan de résultats plus agrégés avec un écart moyen > 2 dB.

Les corrections de modèle (l'ensemble de toutes les corrections) doivent être définies selon la fiche technique « Détermination du bruit routier sur le réseau des routes nationales » du manuel technique T/U [10] et l'annexe 1b du Manuel du bruit routier [4].

Les plans de résultats servent d'aide pour déterminer la correction de revêtement. Les données présentées dans ces plans reflètent l'impact du revêtement sur les émissions StL-86+. D'éventuelles autres corrections, liées p. ex. aux écarts de vitesse par rapport à la signalisation, à un style de conduite différent, une chaussée en pente ou une autre composition du parc de véhicules, ne sont pas intégrées et doivent être prises en considération si nécessaire.

Le choix de se référer à un plan de résultats détaillés ou plus fortement agrégés est déterminé par la situation à l'immission (proximité des bâtiments à la source): si la distance entre la source et le bâtiment est inférieure à 200 m, il est recommandé de consulter les plans de résultats plus détaillés (écart moyen > 1 dB), si la distance récepteur-source est supérieure à 200 m, les plans de résultats plus agrégés (écart moyen > 2 dB) sont plus appropriés (cf. Fig. 4.16).

Fig. 4.16 Procédé pour la détermination des corrections de revêtement

1.	Analyse de la situation basée sur les plans de résultats avec écart moyen > 1 dB et écart moyen > 2 dB
2.	Localisation des bâtiments comprenant des locaux sensibles au bruit situés à proximité de la source
3.	Distance source-récepteur < 200 m → utiliser le plan de résultats avec écart moyen > 1 dB Distance source-récepteur ≥ 200 m → utiliser le plan de résultats avec écart moyen > 2 dB
4.	Si les propriétés acoustiques diffèrent fortement les unes des autres entre les axes directionnels, les résultats devraient être considérés séparément selon la direction (sens de circulation).

5 Monitoring du revêtement

Pour déterminer les propriétés acoustiques détaillées d'un revêtement au moyen de mesures CPX et de leur évolution dans le temps, il est recommandé d'appliquer le procédé de monitoring du revêtement.

5.1 Exécution des mesurages

Le système utilisé pour le déroulement des mesurages CPX, incluant la préparation et la documentation, doit satisfaire aux exigences de la norme en vigueur [6]. En cas de mesurages effectués en conditions de circulation réelles, un système de remorque fermée doit être utilisé. L'emploi de pneumatiques spécifiés dans l'ISO/CD TS11819-3 [7] est obligatoire. Le tableau suivant présente les exigences principales pour l'exécution des mesurages.

Fig. 5.1 Exigences pour les mesurages CPX dans le cadre du monitoring

Normes et bases	ISO/FDIS 11819-2 [6], ISO/TS 11819-3 [7], ISO/TS 13471-1 [8]
Vitesse lors du mesurage	80 km/h*
Plage de tolérance de la vitesse	15% (= 12 km/h) pour un segment unique 5% (= 4 km/h) sur l'ensemble de la section mesurée
Température lors du mesurage (air)	5°C à 30°C
Périmètre	Tronçon entier
Nombre de trajets lors du mesurage	1 trajet par voie de circulation avec pneus de voiture de tourisme montés sur les deux côtés 1 trajet par voie de circulation avec pneus de poids lourds montés sur les deux côtés
Voies de circulation mesurées	Mesurages toujours dans la trace de roulement
Localisation	OFROU 10001 [3] Dans le cas des voies à sens de circulation séparés, un axe est défini pour chaque direction selon la clé d'identification SRB. «+» signifie: Sens de circulation = Direction de l'axe «-» signifie: Sens de circulation ≠ Direction de l'axe
Déroulement des mesurages pour plusieurs voies	Le premier trajet doit se dérouler à chaque fois sur la voie la plus proche de la berme centrale (cf. Fig. 4.2 et Fig. 4.3), toujours de manière continue. Chaque voie supplémentaire doit être relevée en parallèle.
Marquages, marquage électronique relatif aux signaux acoustiques	Début/fin du tronçon mesuré, début/fin du revêtement en place, décalages de voies, joints de chaussées, ponts, tunnels, chaussée endommagée, retouches, autres éléments de chaussée présents dans le revêtement
Le nombre de passages doit être répété jusqu'à ce que des mesurages valides puissent être effectués	Par exemple, en cas de fort trafic de jour, les mesurages peuvent être effectués le soir ou la nuit

* si la vitesse signalisée est inférieure à 80 km/h, il est recommandé d'effectuer les mesurages à 50 km/h

Dans le cas d'une intégration des résultats dans MISTRA TRASSEE, la numérotation et l'assignation des voies de circulation doivent être effectuées conformément au Manuel de saisie des données MISTRA TRASSEE [31].

5.2 Programme de mesurages recommandé

Dans le cas du suivi acoustique d'un revêtement dit conventionnel (c'est-à-dire selon un type de construction établi), il est recommandé d'effectuer des mesurages CPX environ 3 mois après le remplacement du revêtement et de les répéter 1, 3, 5 et 10 ans après la pose. Afin de comparer l'effet par rapport au revêtement précédant, un mesurage CPX supplémentaire peut également être effectué avant le remplacement du revêtement.

Dans le cas du suivi acoustique d'un revêtement dit innovant (c'est-à-dire avec une nouvelle formulation ou selon un type de construction innovant), il est recommandé d'effectuer un mesurage CPX chaque année au cours des cinq premières années. Il est également recommandé de procéder à un mesurage CPX après 10 ans.

Fig. 5.2 Proposition de programme de mesurages dans le cadre d'un monitoring

	Mode de construction innovant	Mode de construction conventionnel
	CPX	CPX
avant remplacement du revêtement	X (si pertinent)	X (si pertinent)
après remplacement du revêtement	x	x
après 1 année	x	x
après 2 ans	x	
après 3 ans	x	x
après 4 ans	x	
après 5 ans	x	x
après 6 ans		
après 7 ans		
après 8 ans		
après 9 ans		
après 10 ans	x	x

Si possible, il est recommandé d'obtenir les résultats des analyses de carottage et de mélange pour l'interprétation des mesurages de qualité acoustique du revêtement. Les données sur la courbe granulométrique, la teneur en liant, la teneur en vides dans l'éprouvette Marshall, ainsi que le pourcentage de vides, le degré de compactage et l'épaisseur de la couche de roulement peuvent amener une valeur ajoutée considérable en vue de l'interprétation des résultats.

5.3 Analyse des données

L'analyse des données pour la détermination des propriétés acoustiques détaillées des revêtements et de leur évolution dans le temps est en grande partie analogue à celle utilisée dans le cadre des projets. L'annexe 1c [1] du Manuel du bruit routier est déterminante pour la conversion du niveau sonore (en champ proche) en valeurs caractéristiques de revêtement selon le modèle StL-86+. Si des méthodes plus précises de conversion sont disponibles à l'avenir (p. ex. la méthode MBBM relative à la dimension spectrale des valeurs acoustiques du revêtement [12]), elles doivent être préférées dans les cas de monitoring. De manière générale, les données sont analysées pour des tronçons entiers, correspondant à la longueur du revêtement en place. Dans le cas de tronçons plus longs, une division en tronçons acoustiquement homogènes selon le chapitre 4.3.3 peut s'avérer appropriée (p. ex. si le revêtement présente une grande hétérogénéité, est caractérisé par des sollicitations particulières ou si un vieillissement acoustique est constaté sur certaines parties).

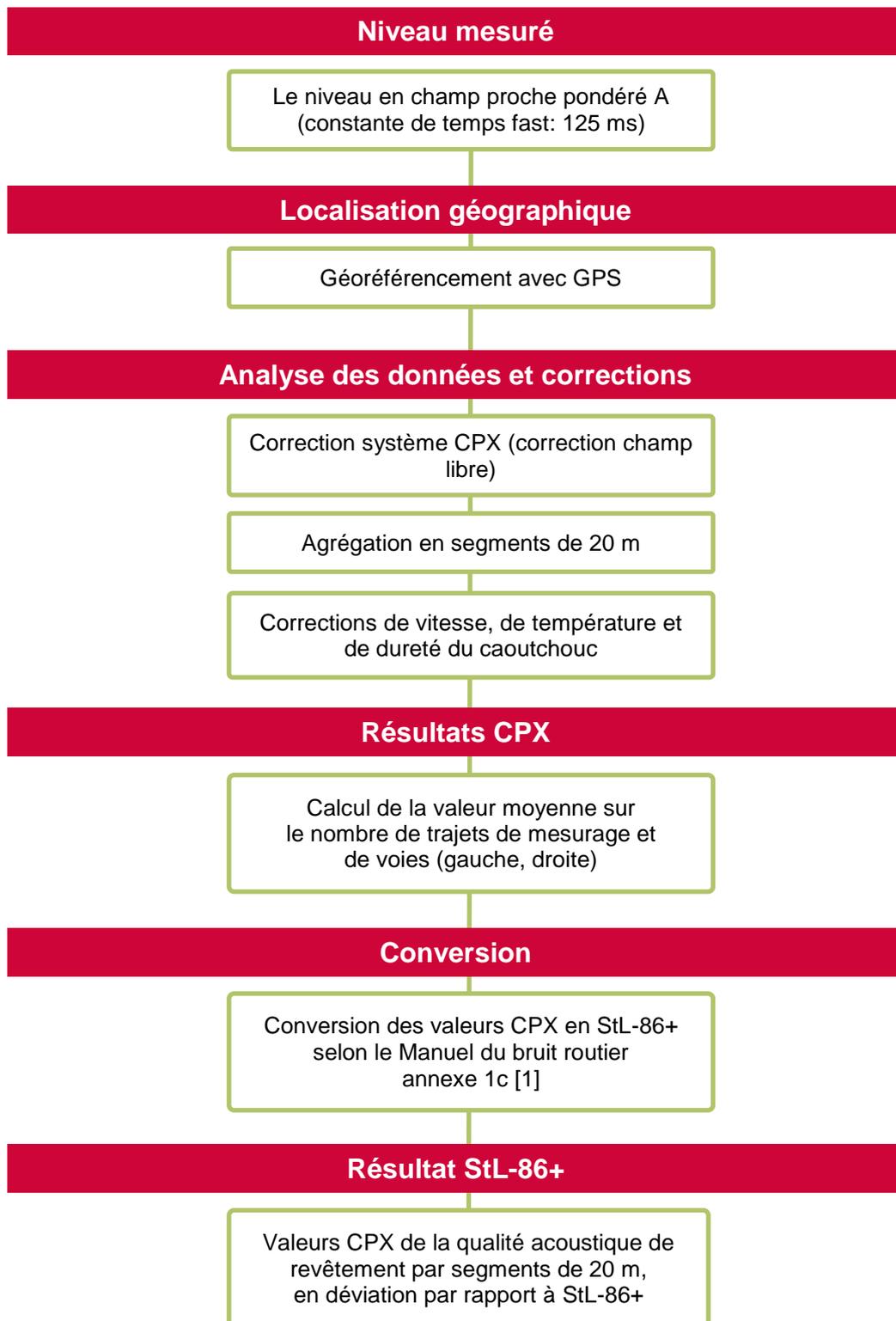


Fig. 5.3 Schéma de procédure d'analyse des données des mesurages CPX.

Fig. 5.4 Exigences pour l'analyse des données des mesurages CPX

Normes et bases	ISO/FDIS 11819-2 [6], ISO/TS 11819-3 [7], ISO/TS 13471-1 [8]
Segments de 20 m	ISO/FDIS 11819-2 [6]
Géoréférencement	Voies parallèles à la berme centrale
Correction système CPX	ISO/FDIS 11819-2 [6]
Correction liée à la vitesse	ISO/FDIS 11819-2 [6]
Correction liée à la température	ISO/TS 13471-1 [8]
Correction liée à la dureté du caoutchouc	ISO/TS 11819-3 [7],
Modèle de conversion des valeurs CPX en StL-86+	Manuel du bruit routier annexe 1c [1]
L'exclusion de segments présentant des résultats de mesurage non conformes aux normes devrait généralement être évitée	Par ex. différences de vitesse

5.4 Traitement et livraison des données

Les principes de traitement et de livraison des données de mesurages CPX sont compilés dans la Fig. 5.5.

Fig. 5.5 Traitement et livraison des données de mesurages CPX

Calcul des valeurs de qualité acoustique de revêtement dans un trafic mixte	Part N2 = 15%	Chapitre 4.3.1
Représentation en couleurs des segments de 20 m	Proposition selon modèle de légende	Chapitre 4.3.2
Localisation du revêtement monitoré	Attribution des données du revêtement aux segments de 20 m	Chapitre 4.3.3
Calcul de la valeur moyenne pour le tronçon de revêtement et par voie	Tronçons de revêtement par voie	Chapitre 4.3.4
Livraison du plan avec valeur moyenne par voie		Annexe I
Livraison des valeurs spectrales	$L_{CPX:P}$ spectral, $L_{CPX:H}$ spectral, résultats StL-86+ par catégorie de véhicules et pour un trafic mixte (15% N2)	Chapitre 4.3.5

Si les propriétés acoustiques varient fortement le long du tronçon de revêtement, il est recommandé de subdiviser encore le tronçon selon les chapitres 4.3.3 et 4.3.4. Les valeurs acoustiques sont à ajuster en conséquence.

Fig. 5.6 Proposition de contenu d'un rapport de monitoring

Principes	En complément des mesurages actuels, il faut également inclure dans le rapport les résultats des années précédentes (vue évolutive)
CPX de l'ensemble des voies	Valeur moyenne de l'ensemble du tronçon pour voitures de tourisme, poids lourds, trafic mixte
CPX par voie de circulation	Valeur moyenne par voie de circulation pour voitures de tourisme, poids lourds, trafic mixte
CPX par section (si les propriétés varient considérablement sur le tracé longitudinal)	Valeur moyenne par section acoustiquement homogène pour voitures de tourisme, poids lourds, trafic mixte
SPB (si disponible)	Résultats pour voitures de tourisme, poids lourds, trafic mixte
SEM (si disponible)	Résultats pour trafic mixte
Comparaison CPX – SPB (si applicable)	Comparaison des valeurs CPX et SPB pour la voie normale (valeur moyenne des segments se situant dans la zone d'influence du mesurage SPB)
Comparaison CPX – SEM (si applicable)	Comparaison des valeurs SEM et CPX pour les voies 1, 2, 3 et 4, (valeur moyenne des segments se situant dans la zone d'influence du mesurage SEM)
Évaluation de l'homogénéité des propriétés acoustiques du revêtement	Analyse des valeurs moyennes des sections CPX
Évaluation de la pertinence/validité de la prise en compte du trafic mixte (si applicable)	<ul style="list-style-type: none"> – Concordance CPX-SPB – Qualification de la qualité des données et de la qualité de l'emplacement – Appréciation de la représentativité de l'emplacement SPB par rapport à la section (section peu bruyante ou bruyante ?)
Évaluation de l'effet du revêtement à l'emplacement du mesurage SEM (si applicable)	<ul style="list-style-type: none"> – Concordance CPX-SEM – Qualification de la qualité des données et de la qualité de l'emplacement – Formulation d'hypothèses en cas de différences (vitesse, véhicules bruyants, mode de conduite, parc de véhicules, etc.)

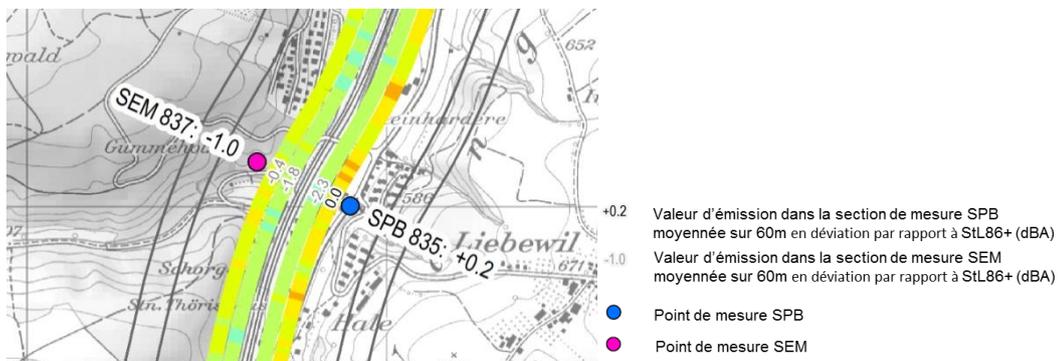


Fig. 5.7 Exemple d'extrait de plan pour la représentation des résultats de mesurage CPX sur des sections dans lesquelles des mesurages SPB et SEM ont également été effectués.

Une comparaison directe des résultats CPX avec des mesurages SEM ou SPB est possible au niveau de la section de mesurage, en tenant compte des caractéristiques propres à chaque méthode de mesurage:

- Pour les mesurages SPB, seule une section spécifique sur une voie (habituellement la voie extérieure resp. la voie normale) est déterminante pour la valeur d'émission mesurée. Afin de comparer les mesurages CPX aux mesurages SPB, on calcule la moyenne énergétique des trois segments CPX (au total 60 m) les plus proches du point de mesurage SPB (cf. Fig. 5.8).

- Pour les mesurages SEM, les segments CPX de toutes les voies de la section de mesure SEM sont combinés en une valeur moyenne énergétique, en tenant compte de la distance au point de mesure et d'une répartition standard du trafic sur chacune des voies. À cet effet, on calcule d'abord pour chaque voie séparément la moyenne énergétique des trois segments CPX (au total 60 m) les plus proches du point de mesure SEM (cf. Fig. 5.8). Comme les différentes voies influencent plus ou moins fortement la valeur mesurée au point SEM, il est proposé d'effectuer ensuite une pondération selon Fig. 5.9. Cette pondération a été déterminée pour une situation représentative au moyen d'un modèle de propagation.

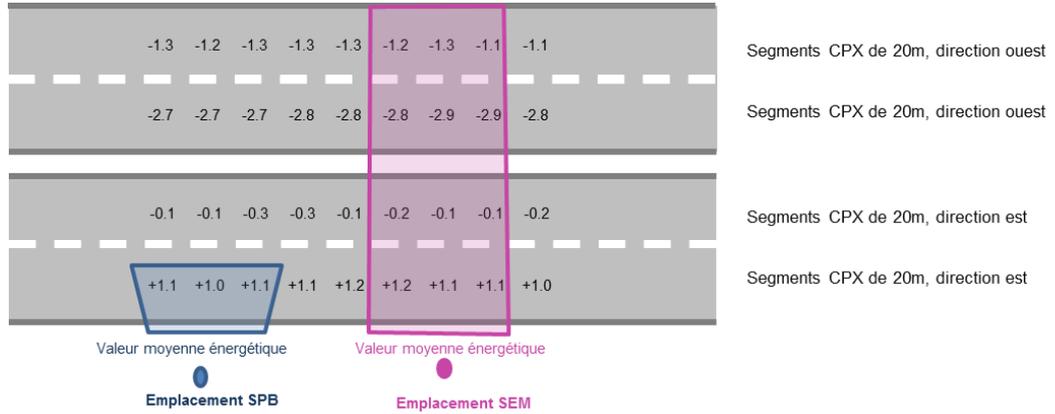


Fig. 5.8 Évaluation des valeurs CPX, SPB et SEM en comparaison transversale.

Fig. 5.9 Proposition de pondération des voies pour la comparaison SEM-CPX en fonction de l'emplacement du mesurage SEM

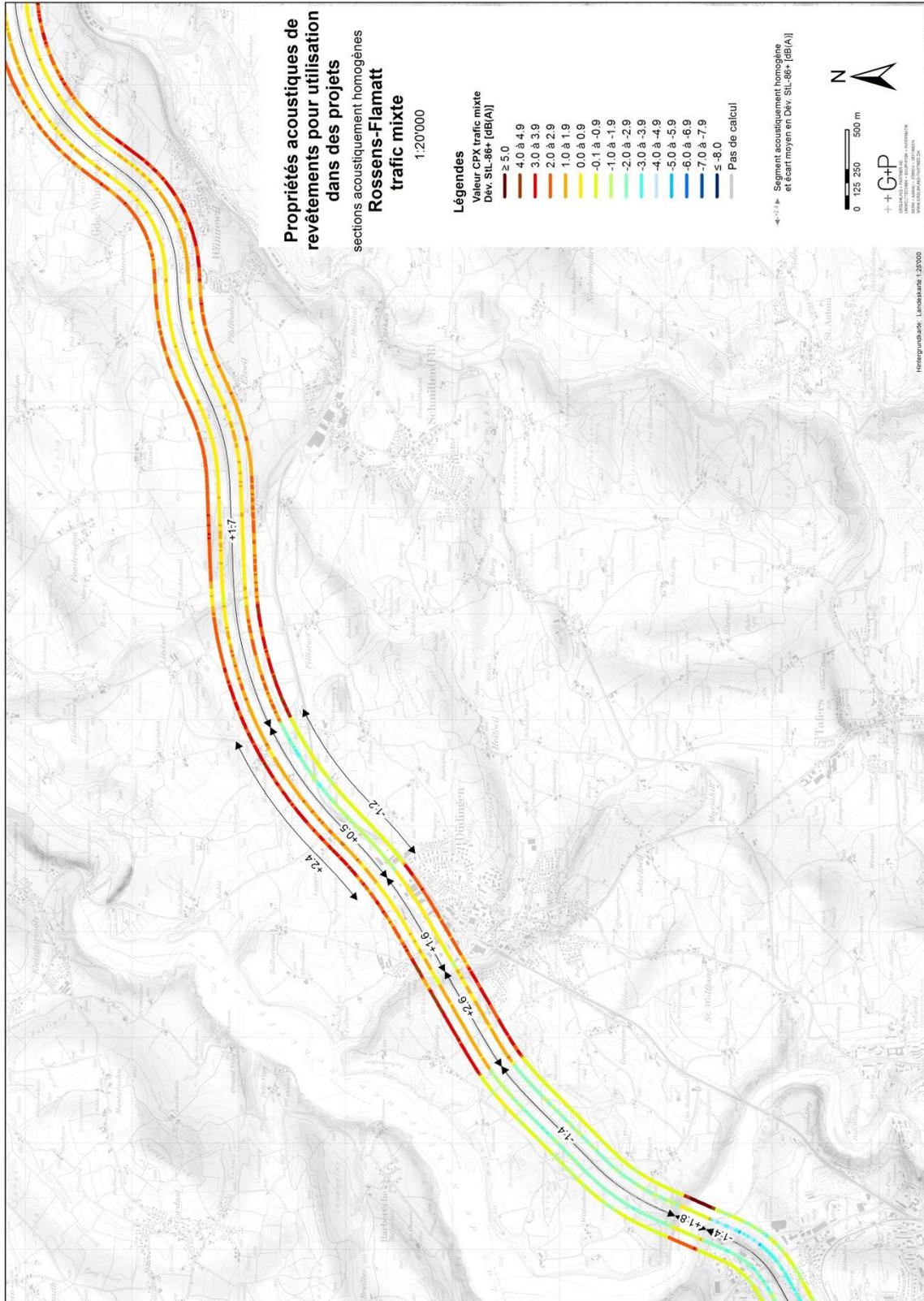
	Toutes les voies ont des propriétés acoustiques similaires	Les voies proches ont des propriétés acoustiques significativement plus fortes (env. +3 dB)	Les voies opposées ont des propriétés acoustiques significativement plus fortes (env. +3 dB)
Voie normale proche	60%	65%	45%
Voie de dépassement proche	15%	20%	15%
Voie de dépassement opposée	10%	5%	15%
Voie normale opposée	15%	10%	25%

Annexes

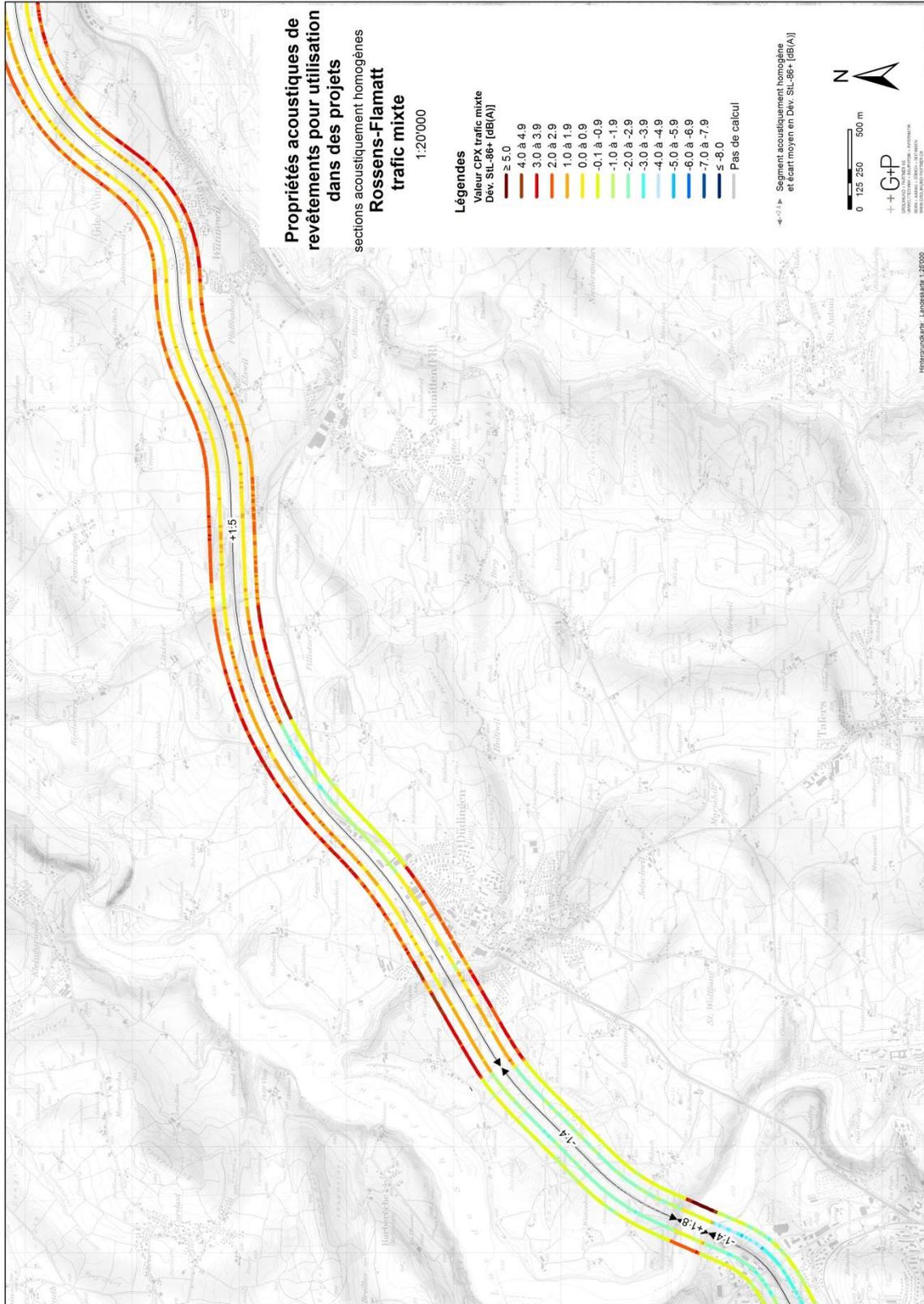
I	Exemples de plans (fictifs).....	28
II	Exigences du protocole de mesurage selon la norme (ISO 11819-2).....	33
III	Formule de calcul des valeurs de trafic mixte	34
IV	Avantages et inconvénients des méthodes de mesurage CPX, SPB et SEM	35
V	Analyse de sensibilité relative aux directions des axes	36
VI	Analyse de sensibilité de la part de trafic lourd	41

I Exemples de plans (fictifs)

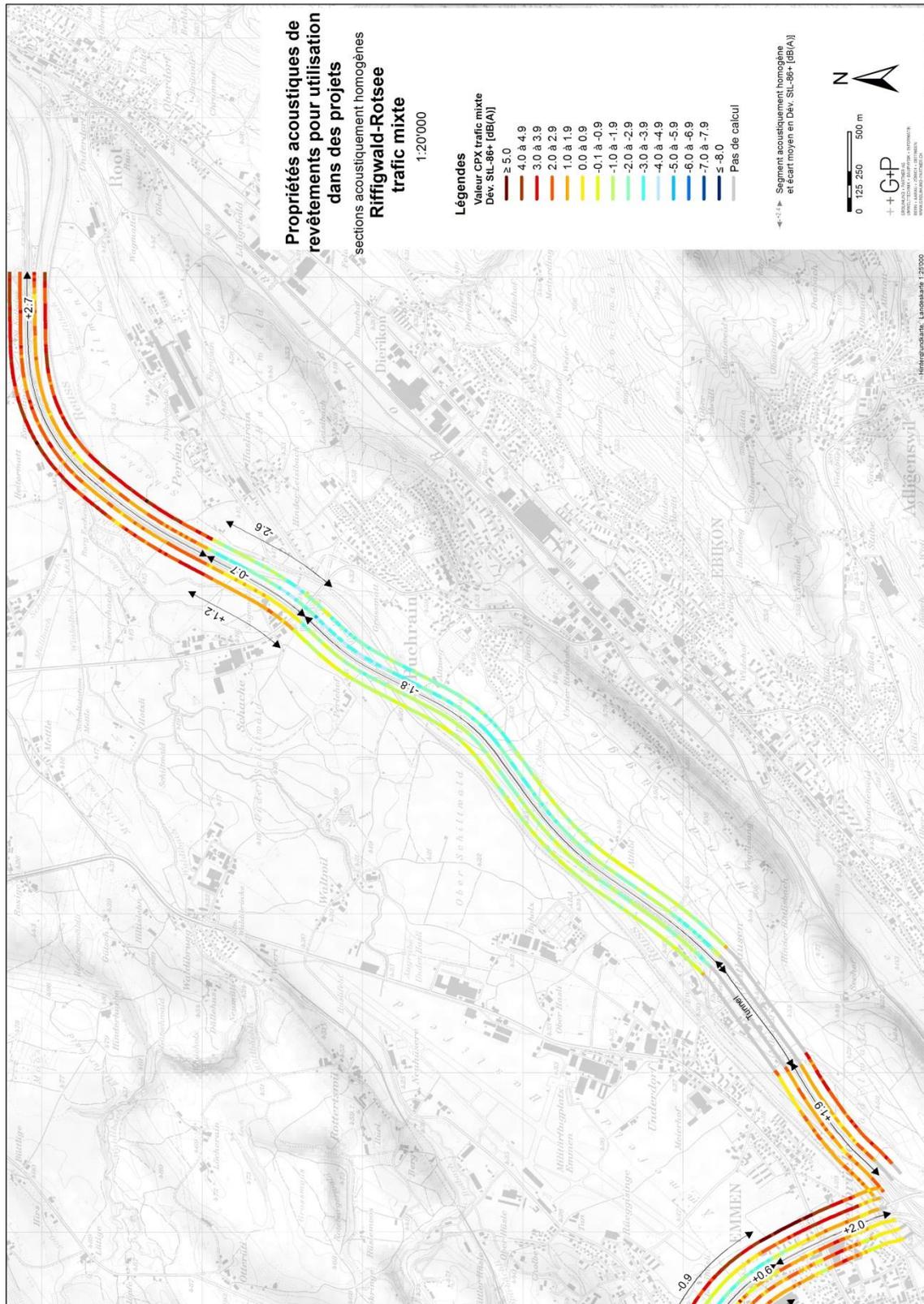
Rossens - Flamatt (écart de valeur moyen > 1 dB)



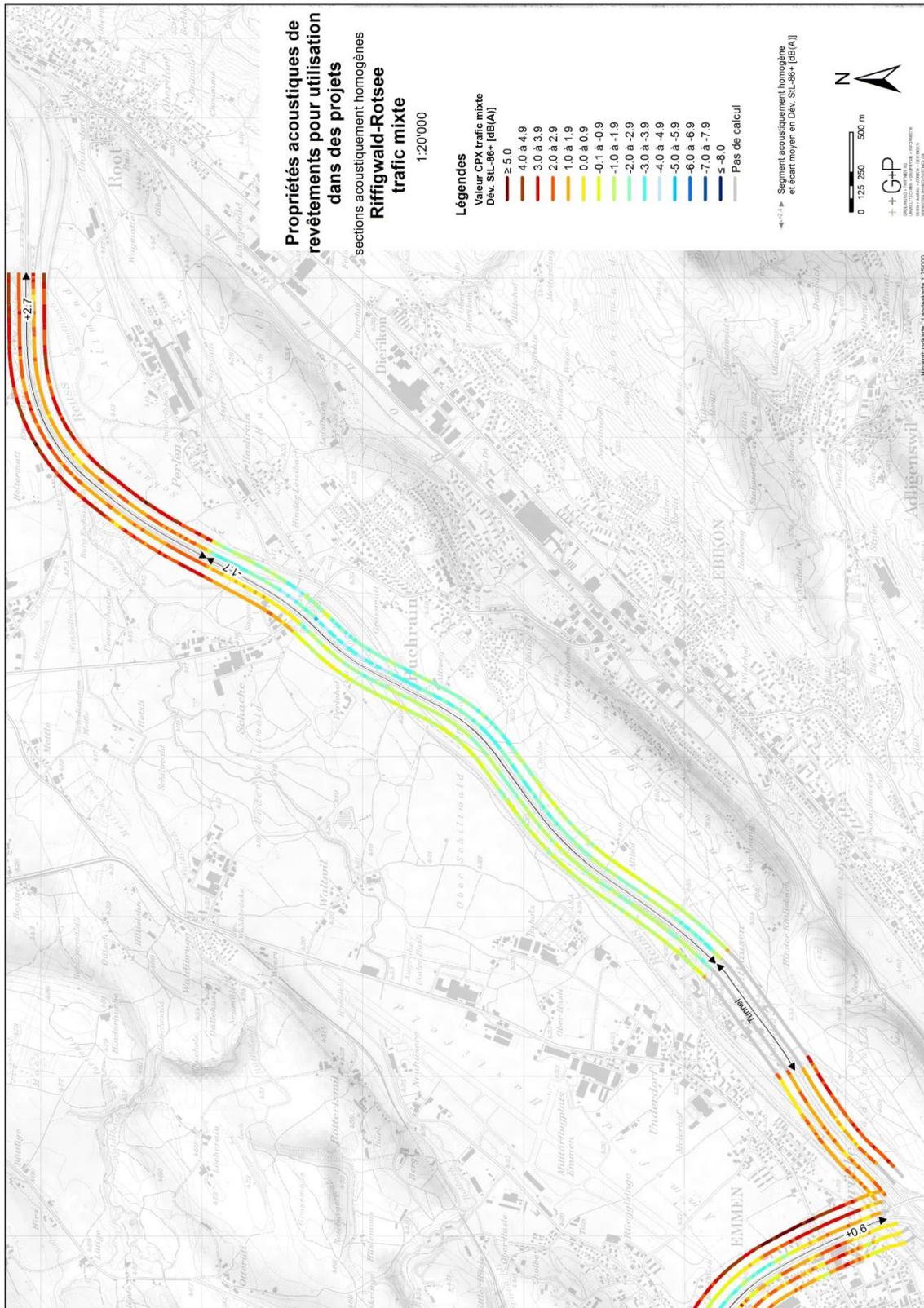
Rossens - Flamatt (écart de valeur moyen > 2 dB)



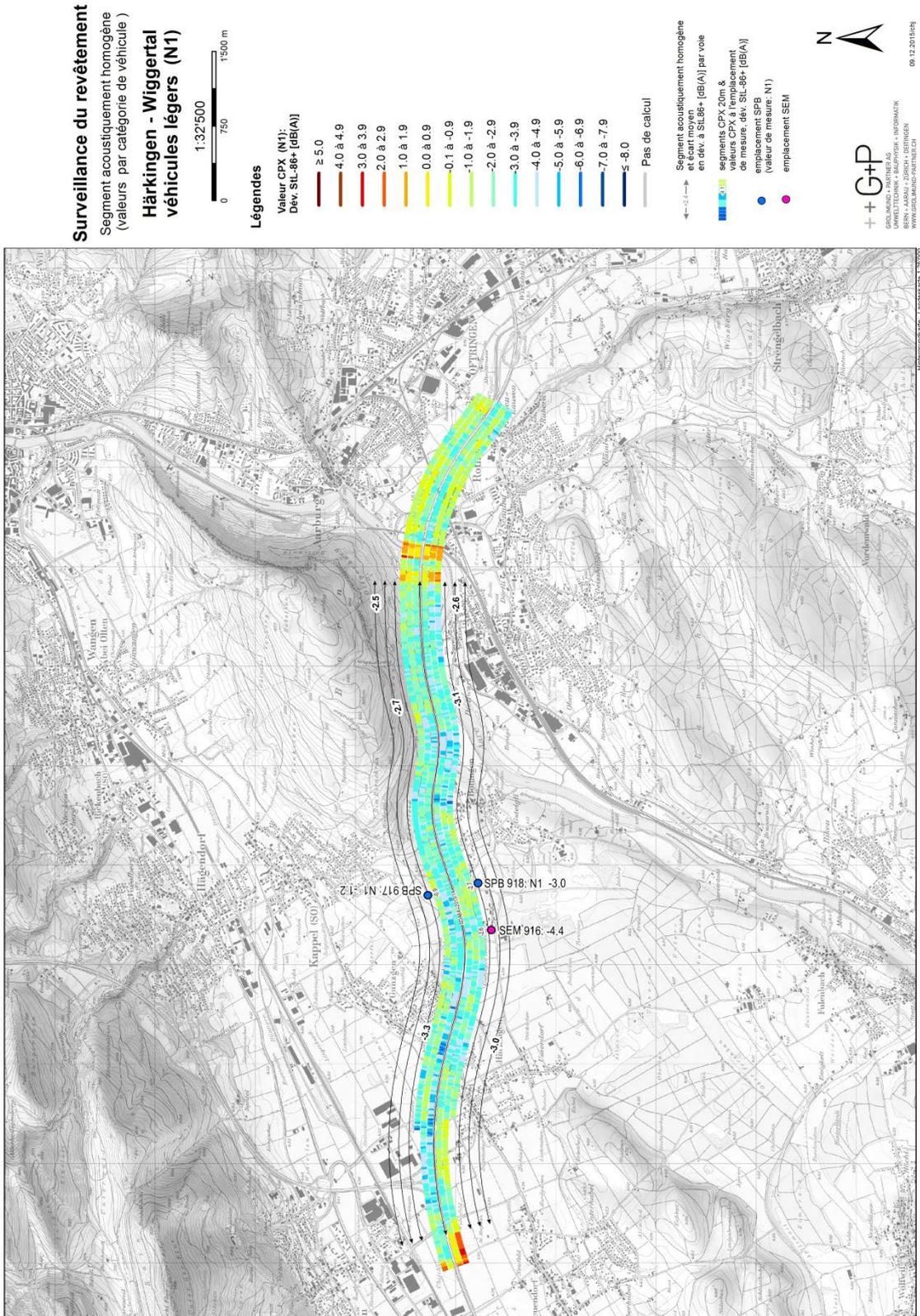
Riffigwald - Rotsee (écart de valeur moyen > 1 dB)



Riffigwald - Rotsee (écart de valeur moyen > 2 dB)



Exemple de plan pour le monitoring (N1 véhicules légers)



II Exigences du protocole de mesurage selon la norme (ISO 11819-2)

Indications générales

- Date et heure de mesurage
- Société/organisation
- Responsable du mesurage
- Objectif du mesurage (relevé d'état/monitoring)

Appareils/ système de mesurage

- Type de remorque
- Pneus de référence
- Système de mesurage
- Calibreur
- Capteur de vitesse
- Équipement météorologique
- Microphone
- Certification du système de mesurage (selon xxx)

Indications relatives au tronçon mesuré

- Lieu
- Limitation de vitesse
- Gradient longitudinal
- Pente
- Plan de situation
- Longueur du tronçon mesuré
- Coordonnées GPS du début du tronçon
- Coordonnées GPS de la fin du tronçon
- Position de mesurage latérale du tronçon, p. ex. voie XX, trace de roulement gauche et droite

Indications sur le revêtement (si possible)

- Type de revêtement et caractéristiques
- Épaisseur de couche
- Granulométrie maximale
- Teneur en vides
- Coefficient d'absorption sonore
- Photo représentative du revêtement
- Profondeur de texture (MPD) selon ISP 13473-1
- Formulation du revêtement

Indications sur l'état du revêtement et des conditions environnementales (si possible)

- Âge et état du revêtement, p. ex. 4 ans, ornières clairement visibles
- Traitements spéciaux de la surface de la chaussée
- Homogénéité du revêtement
- Nombre de jours depuis les dernières précipitations
- Température de l'air
- Température du revêtement
- Facteurs de correction de température

Indications sur les pneus d'essai

- Type de pneu, identification (DOT) et date de production
- Dureté du caoutchouc en ShoreA (pas plus vieux que 3 mois)
- Nombre de passages par pneu
- Vitesse de référence
- Vitesse moyenne roulée

Niveau de pression acoustique mesuré et calculé

- L_{CPX} pour P1 et H1

Autres

- Constante de vitesse

III Formule de calcul des valeurs de trafic mixte

Les valeurs de qualité acoustique de revêtement collectées séparément pour voitures de tourisme et poids lourds au moyen de la méthode CPX peuvent être converties en une valeur StL-86+ en trafic mixte, pondérée par catégorie de véhicules, en utilisant la formule suivante (selon EMPA (1986) «modèle informatique pour le calcul du bruit routier» [32] et OFEFP (2010), «Bruit routier: Corrections de l'Ordonnance sur la protection contre le bruit» [33]).

$$CPX_{Misch} = 10 * \log \left(10^{\left[\left[A+10*\log \left(1+\left(\frac{v}{50}\right)^3 \right) +10*\log(1-\eta) \right] *0.1 \right]} + 10^{\left[\left[A+10*\log \left(\left(1+\left(\frac{v}{50}\right)^3 \right) * \left(1+B*\left(\frac{v}{150}\right) \right) \right) \right] +10*\log(\eta) \right] *0.1} \right)} - 10 * \log \left(10^{\left[\left[A+10*\log \left(1+\left(\frac{v}{50}\right)^3 \right) +10*\log(1-\eta)+CPX_{N1} \right] *0.1 \right]} + 10^{\left[\left[A+10*\log \left(\left(1+\left(\frac{v}{50}\right)^3 \right) * \left(1+B*\left(\frac{v}{150}\right) \right) \right) \right] +10*\log(\eta)+CPX_{N2} \right] *0.1} \right)} \right)$$

- A, B Constantes empiriques A = 43, B = 20
- v Vitesse [km/h] (en règle gén. = 80 km/h)
- η Part du trafic poids lourds par rapport à l'ensemble du trafic (en règle gén. = 0.15)
- CPX_{N1} Valeur caractéristique de revêtement pour N1 en déviation par rapport à StL-86+ [dB(A)]
- CPX_{N2} Valeur caractéristique de revêtement pour N2 en déviation par rapport à StL-86+ [dB(A)]
- CPX_{Misch} Valeur caractéristique de revêtement pour le trafic mixte

IV Avantages et inconvénients des méthodes de mesurage CPX, SPB et SEM

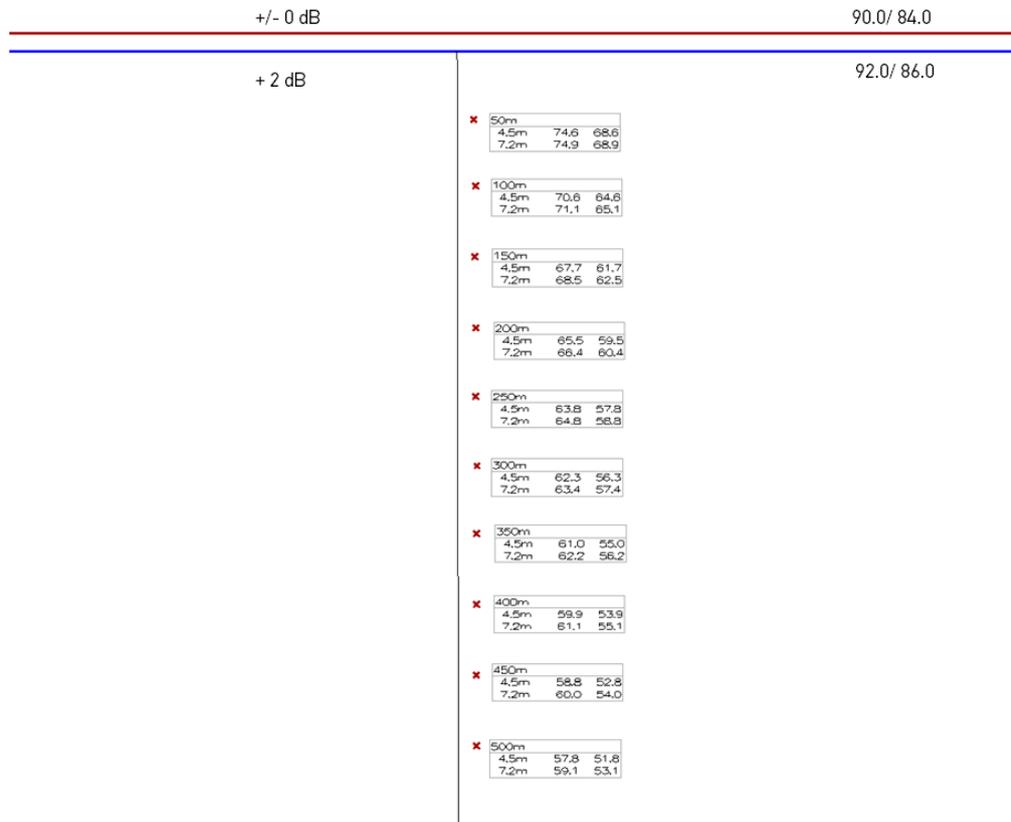
	Avantages	Inconvénients
CPX	<ul style="list-style-type: none"> + Procédure hautement standardisée + Bonne répétabilité + Mesurages couvrant des tronçons entiers + Mesurages couvrant toutes les voies + Mesurages distincts pour les catégories voitures de tourisme et poids lourds + Possibilité de calcul du trafic mixte + Indépendance aux modifications de composition du trafic + Caractéristiques de revêtement identifiables localement + Utilisation dans les projets (ZEL, EK, AP, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> – Restrictions possibles lors du pronostic de la composition du trafic – Les propriétés acoustiques des revêtements PA âgés varient latéralement → dépendance de la voie mesurée – Véhicule d'accompagnement requis pour les mesurages sur les voies de dépassement – Équipement de mesurage coûteux: véhicule de remorquage, remorque de mesurage, technique « multicanaux » requise ainsi que pneus de référence
SPB	<ul style="list-style-type: none"> + Indication possible de l'effet du revêtement par rapport à la composition actuelle du trafic, saisie séparée des catégories voitures de tourisme et poids lourds + Possibilité de calcul du trafic mixte + Effet par rapport à l'émission totale 	<ul style="list-style-type: none"> – Mesurage d'une section transversale sur une voie – Dépendance de la composition instantanée et locale du trafic → ≠ monitoring – Dépendance de la personne en charge du mesurage (sélection des véhicules et classification) – Mesurage de passages idéaux – Exécution des mesurages plus coûteuse qu'avec le procédé SEM – Exigences de conditions de mesurage élevées – Mesurages de passages individuels difficiles sur une section fortement chargée – Limitation de la précision due aux distances entre la source et le point de mesurage – Le mesurage n'est pas exempt de dangers (mesurage à proximité de la route)
SEM	<ul style="list-style-type: none"> + Estimation de l'effet du revêtement pour une situation momentanée + Mesurage de l'ensemble des émissions sonores + Mesurage de l'ensemble du parc de véhicules + Mesurage de l'effet acoustique du revêtement tenant compte des effets de propagation du son proches de la source + Mise en œuvre simple + Exécution économiquement efficace 	<ul style="list-style-type: none"> – Dépendance de la composition instantanée et locale du trafic → ≠ monitoring – Collecte uniquement pour le trafic mixte sur l'ensemble des voies – Spécifique à l'endroit de mesurage – Ne convient pas pour la détermination des valeurs caractéristiques du revêtement – Dépendance de la quantité de véhicules bruyants – Dépendance de la vitesse roulée – La normalisation du trafic ne fonctionne que partiellement

V Analyse de sensibilité relative aux directions des axes

Une analyse de sensibilité a été effectuée pour déterminer dans quelle mesure la prise en compte des résultats séparés par direction de circulation est pertinente. Cette analyse inclut le calcul de l'effet sur les immissions de différentes corrections de revêtement, séparées par direction, et à différentes distances de la source. L'exemple a été choisi de telle sorte que la situation la plus critique (sans séparation des axes directionnels selon le chapitre 4.3.3) soit incluse dans les calculs.

Les trois illustrations suivantes montrent que le critère > 2 dB utilisé pour choisir la représentation des valeurs caractéristiques de revêtement pour chaque direction séparément est approprié. Pour les valeurs moyennes ≤ 2 dB, l'effet des corrections de revêtement par direction se situe à max. 0.3 dB, quelle que soit la distance entre la source et le récepteur.

A)



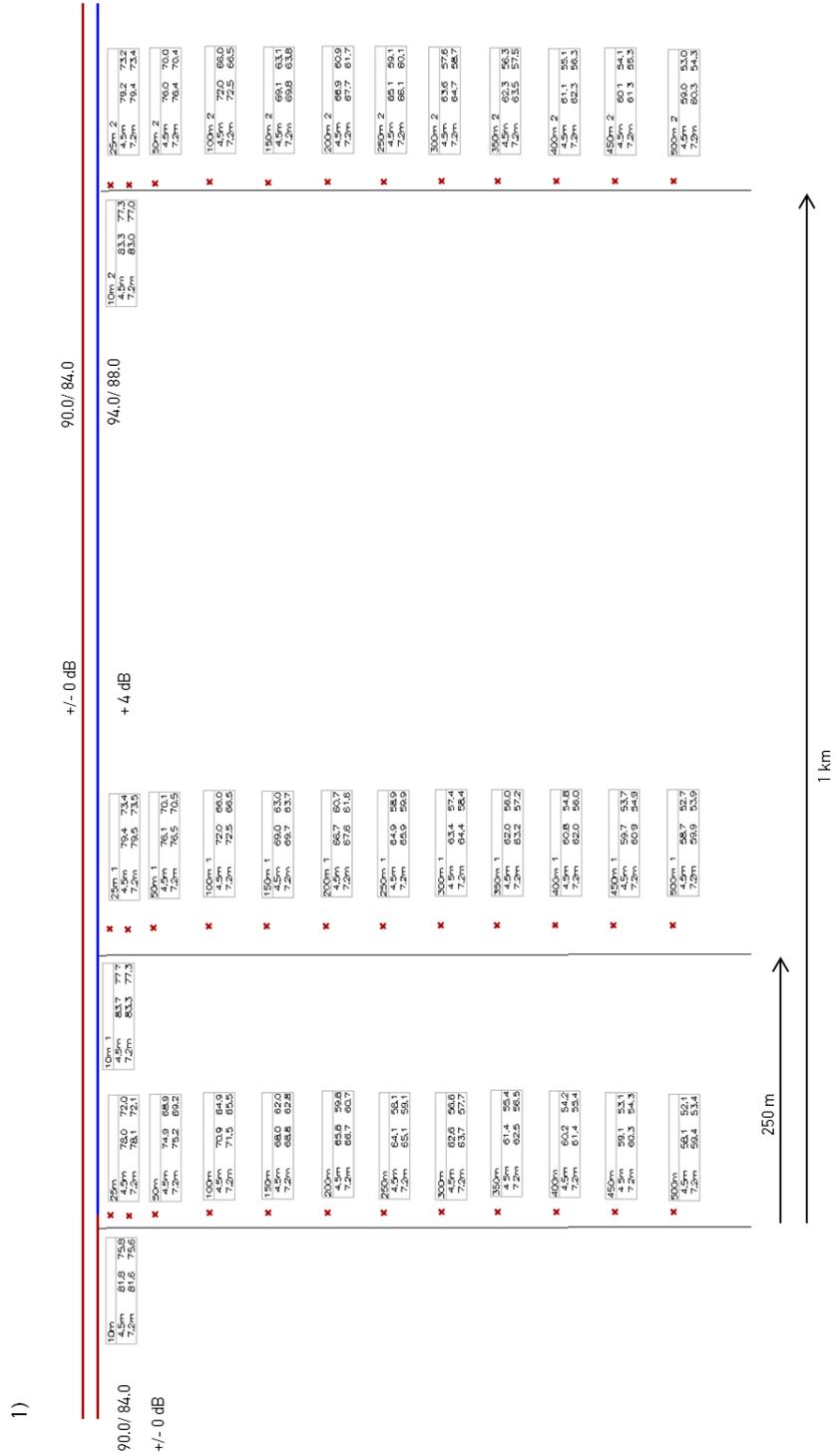
B)

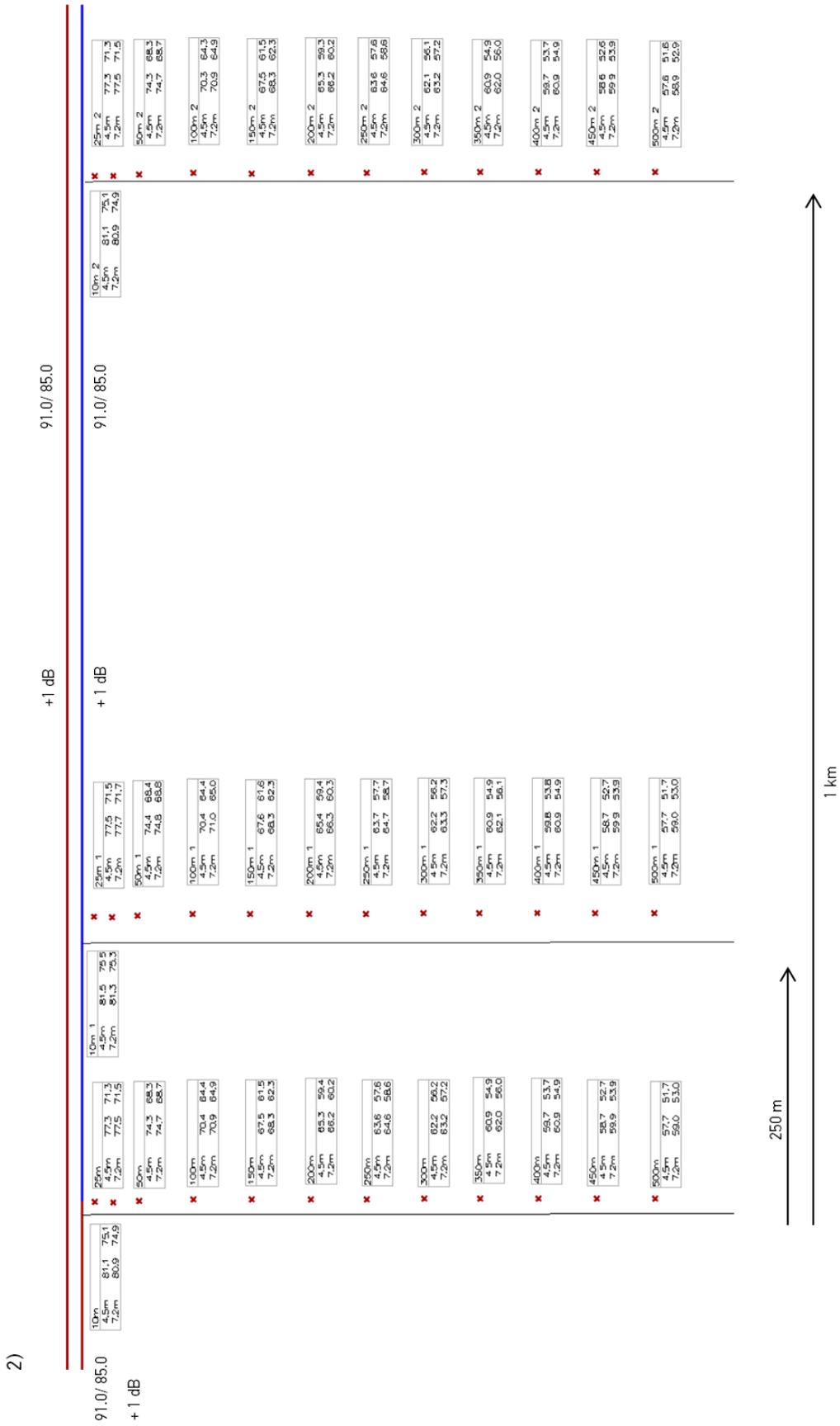
+ 1 dB	91.0/ 85.0									
+ 1 dB	91.0/ 85.0									
	<table border="1"> <tr><td>50m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>74.3</td><td>68.3</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>74.7</td><td>68.7</td></tr> </table>	50m			4.5m	74.3	68.3	7.2m	74.7	68.7
50m										
4.5m	74.3	68.3								
7.2m	74.7	68.7								
	<table border="1"> <tr><td>100m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>70.4</td><td>64.4</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>70.9</td><td>64.9</td></tr> </table>	100m			4.5m	70.4	64.4	7.2m	70.9	64.9
100m										
4.5m	70.4	64.4								
7.2m	70.9	64.9								
	<table border="1"> <tr><td>150m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>67.5</td><td>61.5</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>68.3</td><td>62.3</td></tr> </table>	150m			4.5m	67.5	61.5	7.2m	68.3	62.3
150m										
4.5m	67.5	61.5								
7.2m	68.3	62.3								
	<table border="1"> <tr><td>200m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>65.3</td><td>59.4</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>66.2</td><td>60.2</td></tr> </table>	200m			4.5m	65.3	59.4	7.2m	66.2	60.2
200m										
4.5m	65.3	59.4								
7.2m	66.2	60.2								
	<table border="1"> <tr><td>250m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>63.6</td><td>57.6</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>64.6</td><td>58.6</td></tr> </table>	250m			4.5m	63.6	57.6	7.2m	64.6	58.6
250m										
4.5m	63.6	57.6								
7.2m	64.6	58.6								
	<table border="1"> <tr><td>300m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>62.2</td><td>56.2</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>63.2</td><td>57.2</td></tr> </table>	300m			4.5m	62.2	56.2	7.2m	63.2	57.2
300m										
4.5m	62.2	56.2								
7.2m	63.2	57.2								
	<table border="1"> <tr><td>350m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>60.9</td><td>54.9</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>62.0</td><td>56.0</td></tr> </table>	350m			4.5m	60.9	54.9	7.2m	62.0	56.0
350m										
4.5m	60.9	54.9								
7.2m	62.0	56.0								
	<table border="1"> <tr><td>400m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>59.7</td><td>53.7</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>60.9</td><td>54.9</td></tr> </table>	400m			4.5m	59.7	53.7	7.2m	60.9	54.9
400m										
4.5m	59.7	53.7								
7.2m	60.9	54.9								
	<table border="1"> <tr><td>450m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>58.7</td><td>52.7</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>59.9</td><td>53.9</td></tr> </table>	450m			4.5m	58.7	52.7	7.2m	59.9	53.9
450m										
4.5m	58.7	52.7								
7.2m	59.9	53.9								
	<table border="1"> <tr><td>500m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>57.7</td><td>51.7</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>59.0</td><td>53.0</td></tr> </table>	500m			4.5m	57.7	51.7	7.2m	59.0	53.0
500m										
4.5m	57.7	51.7								
7.2m	59.0	53.0								

Differenz A – B

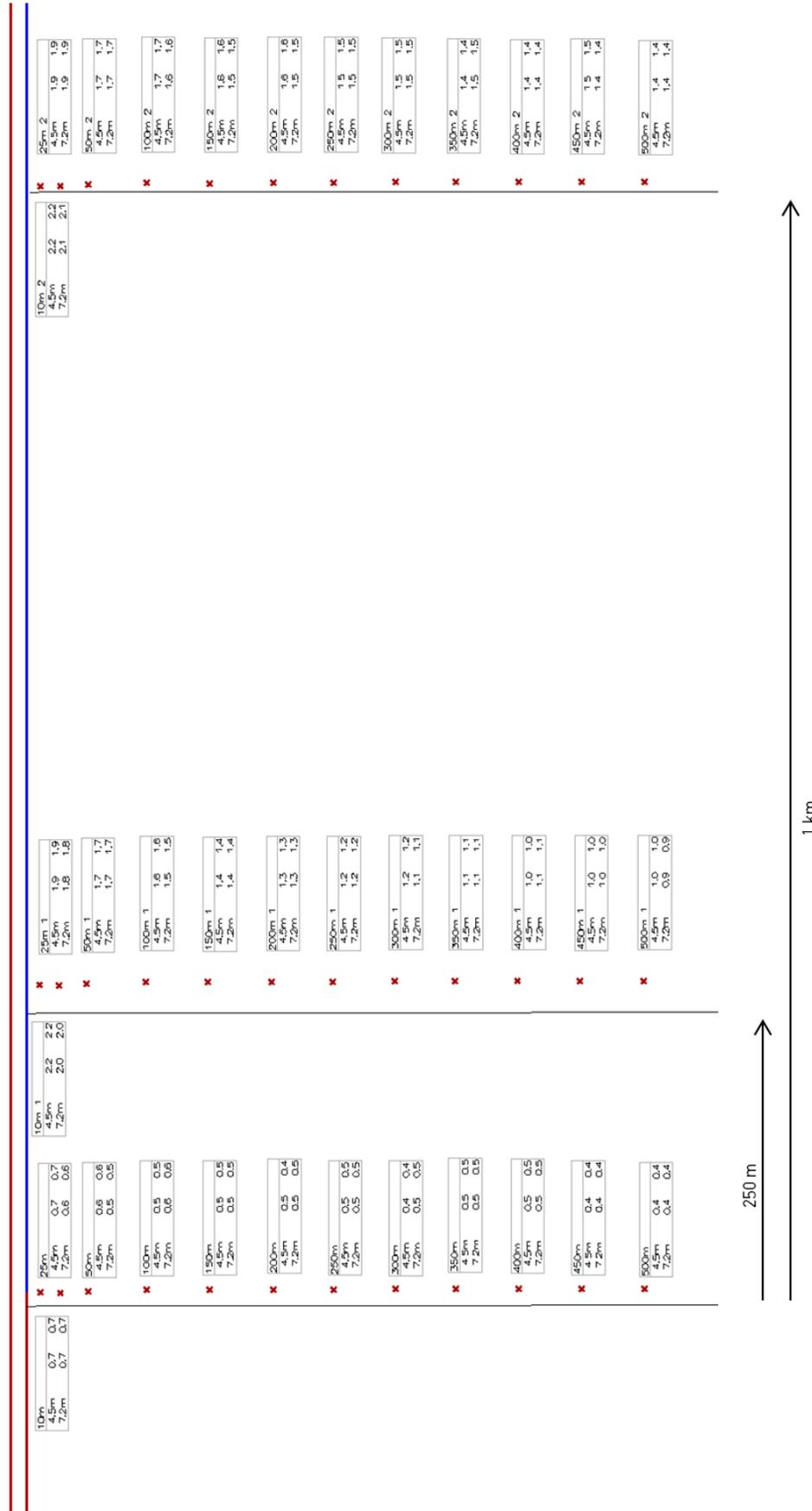
	<table border="1"> <tr><td>50m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.3</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	50m			4.5m	0.3	0.3	7.2m	0.2	0.2
50m										
4.5m	0.3	0.3								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>100m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	100m			4.5m	0.2	0.2	7.2m	0.2	0.2
100m										
4.5m	0.2	0.2								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>150m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	150m			4.5m	0.2	0.2	7.2m	0.2	0.2
150m										
4.5m	0.2	0.2								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>200m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.2</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	200m			4.5m	0.2	0.1	7.2m	0.2	0.2
200m										
4.5m	0.2	0.1								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>250m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	250m			4.5m	0.2	0.2	7.2m	0.2	0.2
250m										
4.5m	0.2	0.2								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>300m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	300m			4.5m	0.1	0.1	7.2m	0.2	0.2
300m										
4.5m	0.1	0.1								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>350m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	350m			4.5m	0.1	0.1	7.2m	0.2	0.2
350m										
4.5m	0.1	0.1								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>400m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	400m			4.5m	0.2	0.2	7.2m	0.2	0.2
400m										
4.5m	0.2	0.2								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>450m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> </table>	450m			4.5m	0.1	0.1	7.2m	0.1	0.1
450m										
4.5m	0.1	0.1								
7.2m	0.1	0.1								
	<table border="1"> <tr><td>500m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> </table>	500m			4.5m	0.1	0.1	7.2m	0.1	0.1
500m										
4.5m	0.1	0.1								
7.2m	0.1	0.1								

Dans les trois illustrations suivantes, il a été examiné à partir de quelle distance entre le point d'immission et la source une détermination des corrections de revêtement à l'aide des plans de résultats fortement agrégés (différence moyenne > 2 dB) n'est plus suffisante ou peut conduire à des sous-estimations importantes. À cet effet, il a été choisi un exemple dans lequel les propriétés acoustiques de deux sections adjacentes diffèrent à tel point qu'elles ne sont pas subdivisées en sections séparées sur le plan de résultats fortement agrégés, alors qu'elles le seraient sur le plan de résultats détaillés.





Differenz 1 - 2)



VI Analyse de sensibilité à la part de trafic lourd

Une analyse de sensibilité a été effectuée afin d'étudier l'influence de divers pourcentages de trafic lourd sur les valeurs de trafic mixte. Il s'agit d'estimer l'erreur possible dans l'utilisation de la part de trafic lourd standard 15% N2.

Lieu	Revêtement	Valeurs caractéristiques en dév. à StL-86+ [dB(A)]		Trafic mixte avec 5% de part de trafic lourd	Trafic mixte avec 10% de part de trafic lourd	Trafic mixte avec 15% de part de trafic lourd	Dév. 5 <> 15%	Dév. 10 <> 15%
		VL (N1)	PL (N2)	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB]	[dB]
Rossens - Flamatt	Tronçon 1	+1.9	+1.6	+1.8	+1.7	+1.7	0.1	0.0
Rossens - Flamatt	Tronçon 2	+0.9	+0.3	+0.7	+0.6	+0.6	0.1	0.0
Rossens - Flamatt	Tronçon 3	+1.9	+1.4	+1.7	+1.6	+1.6	0.1	0.0
Rossens - Flamatt	Tronçon 4	+3.2	+2.2	+2.9	+2.7	+2.6	0.3	0.1
Rossens - Flamatt	Tronçon 5	-1.0	-1.6	-1.2	-1.3	-1.4	0.2	0.1
Rossens - Flamatt	Tronçon 6	+1.8	+1.8	+1.8	+1.9	+1.9	-0.1	0.0
Déviation moyenne							0.2	0.0

Lieu	Revêtement	Valeurs caractéristiques en dév. à StL-86+ [dB(A)]		Trafic mixte avec 5% de part de trafic lourd	Trafic mixte avec 10% de part de trafic lourd	Trafic mixte avec 15% de part de trafic lourd	Dév. 5 <> 15%	Dév. 10 <> 15%
		VL (N1)	PL (N2)	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB]	[dB]
Riffigwald - Rotsee	Tronçon 1	+2.9	+2.6	+2.8	+2.7	+2.7	0.1	0.0
Riffigwald - Rotsee	Tronçon 2	-0.4	-0.9	-0.6	-0.7	-0.7	0.1	0.0
Riffigwald - Rotsee	Tronçon 3	-1.4	-2.1	-1.6	-1.8	-1.8	0.2	0.0
Riffigwald - Rotsee	Tronçon 4	+2.1	+1.8	+2.0	+1.9	+1.8	0.2	0.1
Déviation moyenne							0.2	0.0

L'analyse de sensibilité montre que les valeurs caractéristiques de revêtement ne diffèrent que légèrement lorsque la part de trafic poids lourd varie de 5%, 10% ou 15%. La déviation moyenne entre le calcul avec 5% et celui avec 15% se monte à 0.2 dB. Il n'y a pour ainsi dire pas de différence entre les calculs avec 10% et 15% de part de trafic lourd.

Glossaire

Terme	Signification
SPB	Statistical Pass-By Methode (mesurage statistique du niveau sonore au passage)
CPX	Close-Proximity Methode
SEM	Stichproben-Emissionsmessungen (mesurages d'émission par échantillonnage)
Leq	Niveau sonore équivalent
SEL	Niveau d'exposition
StL-86+	Modèle d'émissions sonore 86+
Lmax	Niveau sonore maximum
Correction de revêtement	On entend par correction de revêtement l'influence du revêtement sur les émissions sonores selon StL-86+. La différence vitesse signalée/ vitesse circulée et le mode de conduite sont des paramètres influençant également l'émission liée au revêtement. Ils ne sont toutefois pas compris dans ce terme. L'intégralité de toutes les corrections est appelée correction du modèle.
Correction du modèle	La correction du modèle est l'ensemble des corrections.
Détermination des propriétés acoustiques des revêtements pour une utilisation lors de projets	Détermination à large échelle de l'état acoustique des chaussées, généralement pour des sections entières du réseau. Les résultats sont principalement utilisés comme aide à la détermination des corrections de revêtement dans les projets de protection contre le bruit.
Monitoring du revêtement	Détermination des propriétés acoustiques détaillées des revêtements et de leur évolution dans le temps.
Axe directionnel	L'axe directionnel se compose de toutes les voies d'une direction.
Sections acoustiquement homogènes	Section calculée pour laquelle la valeur caractéristique moyenne de revêtement ne varie pas plus d'une certaine valeur.

Bibliographie

Directives OFROU

- [1] Office fédéral des routes OFROU & Office fédéral de l'environnement OFEV (2013), *en allemand* “**Leitfaden Strassenlärm Anhang 1c: Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen**”, www.astra.admin.ch.
- [2] Office fédéral des routes OFROU & Office fédéral de l'environnement OFEV (2006), “**Manuel du bruit routier**”, www.astra.admin.ch
- [3] Office fédéral des routes OFROU (2016), „**Réseau des routes nationales comme système de repérage spatial de base SRB**“, Directive OFROU 10001, V1.00, www.astra.admin.ch
- [4] Office fédéral des routes OFROU & Office fédéral de l'environnement OFEV (2013), “**Leitfaden Strassenlärm Anhang 1b: Belagskennwerte - Anwendungshilfe für die Belagsakustik**“, www.astra.admin.ch.

Normes

- [5] ISO CD 11819-2:2000, “**Acoustics -Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close-proximity method**”.
- [6] ISO/FDIS 11819-2:2016, “**Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close-proximity method**”, p. 72.
- [7] ISO/TS 11819-3:2016, “**Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise — Part 3: Reference tyres.**” ISO TC 43/SC 1/WG 33, p. 31.
- [8] ISO/DTS 13471-1:2016 (E), “**Acoustics - Temperature influence on tyre/road noise measurement - Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method**”.
- [9] EN ISO 11819-1:2002, “**Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method**”.

Manuel technique OFROU

- [10] Office fédéral des routes OFROU (2015), “**Manuel technique tracé / environnement**”.

Documentations / rapports

- [11] Office fédéral des routes OFROU (2016), “**ASTRA 2010/014: Forschungsprojekt EP 5 - Verbesserung des Genauigkeitsgrads akustischer Messmethoden**”.
- [12] Müller-BBM (2016), “**ASTRA 2011/007_OBF: Projektbegleitende Forschung Akustik: Ableitung von Belagsgütemerten aus CPX-Messungen**”.
- [13] M. Merki, R. Schibli, S. Schulze, and E. Bühlmann (2014), “**Statistical methods to determine acoustically homogeneous sections and predict road surface type changes using tyre / road noise data,**” Proc. Forum Acusticum, Kraków, Pol., pp. 1–6.
- [14] W. Schwanen, G. Van Blokland, and M. Van Leeuwen (2007), “**Comparison of potential CPX-tyres - Variability within AVON AV4 and SRTT tyre type**”, M+P - Consult. Eng. Rep. DWW.07.04.2, pp. 1–29
- [15] R. Tonin, M. Chung, and M. Gange (2015), “**RONDA open frame CPX trailer - results of first trials**”, Proc. Internoise San Francisco, USA, p. 12.
- [16] F. A. Lédée and J. Kragh, “**Wind noise influence on close-proximity tyre / road noise measurements with uncovered systems**”, pp. 1–10.
- [17] E. Hammer, S. Egger, T. Saurer, and E. Bühlmann (2016), “**Traffic noise emission modelling at lower speeds**” in Conference Proceeding ICSV 2016, pp. 1–8.
- [18] E. Bühlmann, S. Schulze, and T. Ziegler (2013), “**Ageing of the new CPX reference tyres during a measurement season**”, Proc. Internoise Innsbruck, Austria, pp. 1–8.
- [19] U. Sandberg and J. A. Ejsmont, “**INTER-NOISE 2007**”, no. August, 2007.
- [20] U. Sandberg and K. Glaeser (2008), “**Effect of Tyre Wear on Noise Emission and Rolling Resistance**”, Proc. Inter-noise, pp. 1–20.

-
- [21] E. Bühlmann and T. Ziegler, “**Temperature effects on tyre / road noise measurements and the main reasons for their variation**”, pp. 1–7.
-
- [22] E. Bühlmann and G. van Blokland (2014), “**Temperature effects on tyre / road-noise – A review of empirical research**”, Proc. Forum Acusticum Krakow, Pol.
-
- [23] H. Bendtsen, J. Oddershede, Q. Lu, and A. Rezaei (2013), “**Vejdirektoratet Report 436 Asphalt pavement texture and noise: Laboratory experiment with acoustic optimisation tool**”.
-
- [24] A. van Beck and J. Hoogwerff (2007), “**Evaluatie geluideigenschappen hoofdwegenet**”, Proc. Geluid Trillingen Luchtkwal., pp. 1–8.
-
- [25] R. S. H. Skov (2016), “**Analysis and comparison of methods, CPX and SPB, for measuring noise properties of road surfaces**”, pp. 4964–4974.
-
- [26] G. Licitra, M. Losa, L. Alfinito, and M. Cerchiai (2007), “**Correlation factors between statistical Pass-By and Close-Proximity noise level on Italian roads**”, Proc. ICA Madrid, Spain.
-
- [27] G. Licitra, M. Cerchiai, L. Teti, F. Bianco, M. Chetoni, and E. Ascari (2007), “**Relationship between Pass By results, CPX ones and roadside long-term measures: some considerations**”, Proc. Internoise Hamburg, Ger., vol. 274, no. 35, pp. 4955–4963.
-
- [28] P. Morgan, U. Sandberg, and G. van Blokland (2009), “**The selection of new reference test tyres for use with the CPX method, to be specified in ISO/TS 11819-3**”, Proc. Internoise Ottawa, Canada.
-
- [29] P. R. Donovan and D. M. Lodico (2009), “**NCHRP Report 630 - Measuring Tire-Pavement Noise at the Source**”, Washington, D.C (USA).
-
- [30] F. Anfosso-Lédée, C. Leroux, and G. Dutilleux (2014), “**Groupe National sur les Caractéristiques de Surface (GNCDs) - Les travaux du sous-groupe Bruit**”, Proc. Bruitparif - Forum des acteurs spécial bruit routier.
-
- [31] Office fédéral des routes OFROU (2016), “**MISTRA TRA Manuel de saisie des données**”, Documentation-IT ASTRA 61014.
-
- [32] EMPA (1987), “**Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm**”, in Schriftenreihe Umwelt Nr. 60, Bern: Bundesamt für Umweltschutz, p. 47.
-
- [33] BUWAL (2010), “**Strassenlärm : Korrekturen zum Strassenlärmmodell**”.
-

Liste des modifications

Édition	Version	Date	Modifications
2017	1.00	20.09.2017	Entrée en vigueur de l'édition 2017 (version originale en allemand).

