

26.05.2023

N!buxs

Ingénieurs civils spécialisés en construction routière

Nibuxs sàrl

Chemin du Croset 9, CH-1024 Ecublens
T. +41 21 550 95 32. www.nibuxs.ch

Suivi nettoyage phono-absorbants Résultats campagne 2022

Service des ponts et chaussées, Canton de Fribourg
Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)
A6623
26.05.2023

Impressum

Mandant:

Office fédéral de l'environnement (OFEV), division bruit et RNI, CH-3003 Berne

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

Mandataire:

Grolimund+Partner AG

Nibuxs sàrl

Remarque:

Le présent rapport a été réalisé sur mandat de l'OFEV. Seul le mandataire porte la responsabilité de son contenu.

Auteurs

Felix Schlatter

Marc Delaby

Erik Bühlmann

Version	Date	Auteur	Description	Distribution
V1	14.04.2023	F. Schlatter, M. Delaby	Rapport finale	SPC, OFEV
V1.1	26.05.2023	F. Schlatter, M. Delaby	Révision selon les com-	SPC, OFEV

Résumé

Sensibilisé à l'influence potentielle du nettoyage sur l'efficacité acoustique des revêtements phono-absorbants, le canton de Fribourg procède depuis 2017 au nettoyage préventif et régulier, 3 à 4 fois par an, de ses revêtements phono-absorbants, afin de maintenir autant que possible les performances acoustiques et d'éviter le colmatage des pores. Afin d'étudier plus en détail l'effet du nettoyage, deux tronçons ont été exclus du nettoyage à Misery (posé 2018) et à Salvenach (posé 2020).

Le présent rapport propose un bilan de la campagne de mesure réalisée en 2022 visant à évaluer l'impact des nettoyages sur les performances acoustiques des revêtements phono-absorbants. Il s'agit de la septième campagne de suivi organisée par le SPC et ses mandataires. Lors de celle-ci, seuls trois tronçons ont encore été analysés, certains ayant été mis de côté en raison de la diminution de leur performance acoustique dès leur première année de service.

La campagne 2022 comprend une visite in situ des trois tronçons, des mesures CPX, une analyse de la perméabilité à l'eau, des analyses de la texture par photogrammétrie et à l'aide de mesures à la tâche de sable et finalement une analyse des carottes (AVCA).

La visite in situ a permis d'observer la présence d'un chantier sur le tronçon de Salvenach, source potentielle de forte intensité de saleté sur la durée. Une continuité dans le suivi de ce tronçon pourrait permettre à terme de mettre en évidence une influence sur la capacité de réduction du bruit.

Les mesures CPX montrent que les revêtements ont tendance à perdre leur qualité acoustique au cours du temps. L'efficacité du nettoyage dépend des conditions locales comme l'état de saleté et l'intensité de la saleté, c'est pourquoi elle n'apparaît pas toujours très clairement. Le nettoyage permettrait de ralentir le processus de colmatage des pores (principalement les pores de surface) et d'allonger la durée de vie de l'acoustique du revêtement. Les mesures de perméabilité à l'eau concordent généralement avec les mesures CPX.

Les analyses de la texture (photogrammétrie et tâche de sable) ne montrent pas une grande différence entre les mesures réalisées sur les tronçons nettoyés et pour les tronçons sans nettoyage. Par ailleurs, les mesures montrent généralement une augmentation de la profondeur de texture avec le vieillissement du revêtement. Ce phénomène semble davantage se développer dans les bandes de roulement qu'au centre de la voie. Ainsi, bien que le nettoyage constitue une sollicitation non-négligeable pour le revêtement, il ne se traduit pas par des différences significatives, en termes de texture, entre les tronçons de référence et les tronçons non nettoyés. Les sollicitations mécaniques dues au trafic semblent jouer un rôle nettement plus prédominant que le nettoyage pour la dégradation de la texture du revêtement.

Table des matières

1	Mandat.....	5
2	Campagne de mesure	6
2.1	Sections de mesure	6
2.2	Programme de mesure.....	9
3	Résultats.....	14
3.1	Visite <i>in situ</i> des secteurs	14
3.2	Analyses CPX	19
3.3	Analyses perméabilité d'eau	35
3.4	Analyses Texture (photogrammétries).....	36
3.5	Analyse de la texture à la tâche de sable	42
3.6	Analyses des carottes (AVCA).....	45
4	Conclusions	51

Annexes

I	Méthodes	53
II	Explications relatives aux graphiques	59
III	Informations sur les mesures et les appareils.....	60
IV	Plans d'ensemble des résultats de mesure CPX.....	61
V	Protocoles de mesure	72
VI	Points d'échantillonnage Carottes	80

Pièces jointes

- A) Pour d'autres pièces jointes presser Enter

1 Mandat

Sensibilisé à l'influence potentielle du nettoyage sur l'efficacité acoustique des revêtements phono-absorbants, le canton de Fribourg procède depuis 2017 au nettoyage régulier de ses revêtements phono-absorbants et réalise différentes études. Ces recherches sont menées dans la continuité des études qu'avaient entrepris l'OFROU et l'OFEV via l'étude Grolimund + Partner pour procéder aux premiers essais et suivi de nettoyage, notamment sur la route cantonale de Cormanon à Villars-sur-Glâne qui avait été mises à disposition par le canton de Fribourg. Ayant constaté le faible gain acoustique d'un nettoyage sur des revêtements déjà colmatés, le canton a décidé d'adopter une attitude préventive consistant à éviter le colmatage en éliminant les salissures potentielles au fur et à mesure de leur dépôt. La méthode de nettoyage actuellement retenue, qui a pour but d'empêcher le colmatage des vides, consiste à mouiller la chaussée afin de mettre les salissures en suspension dans de l'eau, puis à aspirer cette eau afin d'extraire les salissures de la chaussée avant qu'elles ne se solidifient dans le squelette du revêtement. A cet effet, le service des ponts et chaussées (SPC) a fait l'acquisition d'une balayeuse équipée d'aspirateur et prévoit à terme de remplacer ces autres balayeuses « classiques » par ce modèle.

Afin de pouvoir déterminer directement l'effet de nettoyage, deux tronçons ont été définis dans le canton, sur chacun desquels un tronçon n'est pas nettoyé. Ces deux tronçons se trouvent à Misery (depuis 2018) et à Salvenach (à la sortie du village en direction de Morat).

Le présent rapport propose un bilan de la campagne de mesure réalisée en 2022 visant à évaluer l'impact des nettoyages sur les performances acoustiques des revêtements phono-absorbants. Il s'agit de la septième campagne de suivi organisée par le SPC et ses mandataires, l'étude ayant été initiée en 2018. Les précédentes campagnes ont fait l'objet de rapports annuels.

Pour la campagne 2022, il avait été proposé de ne conserver les sections les plus performantes sur la base des précédentes campagnes, soit Dompierre, Misery et Salvenach, ses deux dernières disposant d'une portion de test non-nettoyée. Tout comme lors des campagnes précédentes, les mesures n'ont été réalisées qu'après les nettoyages, puisque l'étude porte sur l'effet de nettoyages réguliers sur le long-terme et non sur l'effet d'un seul nettoyage.

S'appuyant sur les résultats des précédentes campagnes de suivi, les mesures réalisées en 2022 visent à confirmer les tendances observées, avec comme objectif du point de vue des performances phoniques :

- Evaluer si le nettoyage préventif des enrobés phono-absorbants permet d'éviter un encrassage susceptible de réduire leur performance phonique.
- Démontrer que le procédé de nettoyage retenu ne nuit pas à la qualité « acoustique » de la texture de l'enrobé

Les résultats de la campagne de mesure 2022 ont été présentés lors d'une séance de travail le 7 février 2023.

Précisons encore que l'étude de l'effet du nettoyage sur les performances acoustiques des revêtements phono-absorbant comprend un second volet qui sera traité ultérieurement et qui ne fait pas l'objet du présent rapport. Cette seconde partie visera à identifier les tronçons qui se salissent différemment en raison de leur situation ou de leur environnement, dans le but de mieux définir la stratégie de nettoyage du SPC. Ceci en se basant sur une analyse plus large des mesures acoustiques disponible sur l'ensemble du réseau cantonal fribourgeois.

2 Campagne de mesure

2.1 Sections de mesure

Pour la campagne de mesure de 2022, seules 3 sections ont été conservées par rapport aux 7 sections étudiées en 2021. Constant que plusieurs sections voyaient leur performance acoustique diminuer dès leur première année de service, il a en effet été décidé de ne conserver que les sections les plus performantes, soit Dompierre, Misery et Salvenach. Pour ces deux dernières, une partie du revêtement n'est pas nettoyée, comme précisé au chapitre 2.1.1.

La situation géographique des tronçons de mesure est présentée dans la Figure 1 ci-dessous. Le tableau 1 énumère les tronçons de mesure CPX avec les types de revêtements mesurés, les longueurs de tronçon ainsi que les années respectives de pose du revêtement. Les tronçons de mesures sont situés sur les axes suivants :

- Dompierre : axe 3400 PAYERNE / AVENCHES / MURTEN / BERNE
- Misery : axe 2220 GROLLEY / AVENCHES
- Salvenach : axe 3000 MURTEN / TAFERS / PLAFFEIEN / SCHWARZSEE

Au total, la longueur des tronçons mesurés s'élève à environ 2.9 km.

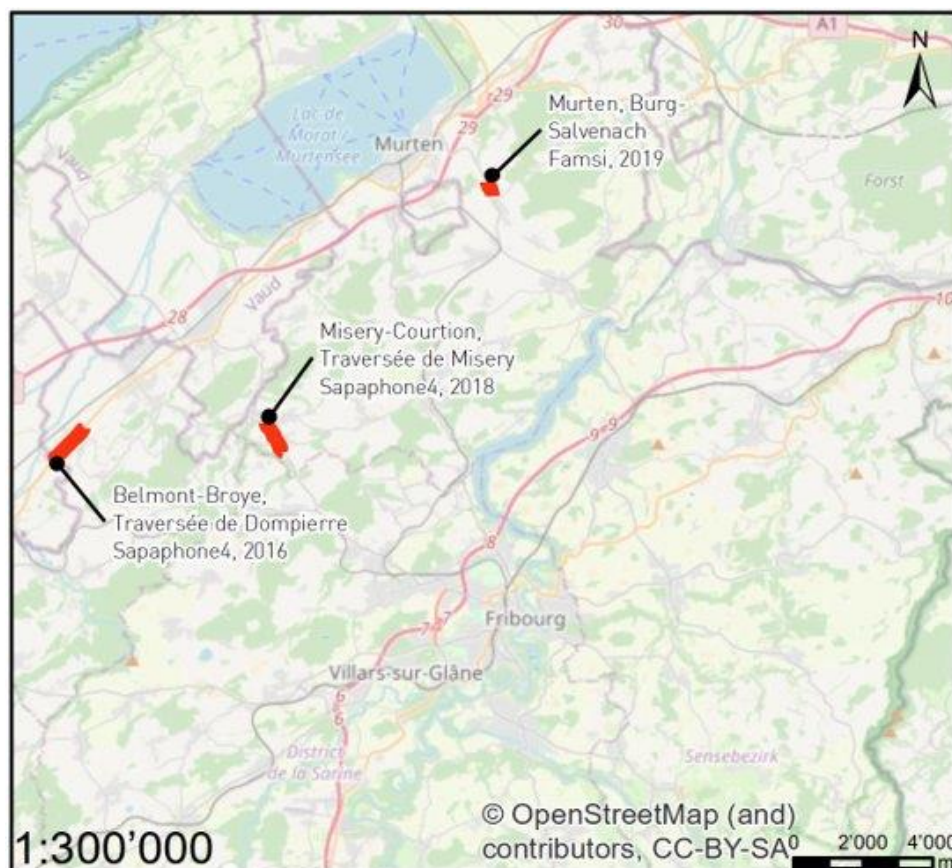


Figure 1 : Situation géographique des tronçons de mesure.

Tableau 1 : Année de pose et longueur des revêtements mesurés (en gris, revêtement des précédentes campagnes, non étudiés en 2022)

	Dompierre	Flamatt Uebers- torf	Belfaux	Avry-Rosé	Tafers	Misery	Salvenach
Désignation	Traversée de Dompierre	Flamatt – Uebers- torfStr,	Traversée de Belfaux Sud	Traversées de Rosé et d'Avry	Mariahilfstrasse	Traversée de Misery	Salvenach
Commune	Belmont-Broye	Ueberstorf	Belfaux	Avry	Tafers	Misery-Courtion	Morat
Axe	3400	3230	2200	2100	3000	2220	3000
PR	4826+0 à 4950+0	0+28 à 50+25	175+0 à 200+162	525+123 à 725+207	1750+81 à 1825+160	200+50 à 300+110	225+129 à 275+90
Longueur m	1246	507	402	1753	831	1063	476
Type revête- ment	Sapaphone 4	Famsiphonogrip	Famsiphonogrip	Famsiphonogrip	Famsiphonogrip	Sapaphone 4	Famsiphonogrip
Entreprise	Routes Modernes SA	Weibel AG	Weibel AG	Weibel AG	Weibel AG	Antiglio SA	Weibel AG
Période de pose	01.07.2016	25.05.2016	01.06.2017	01.06.2017	03.04.2018	21.08.2018	08.08.2019
TJM vhc/j	7'200	5'200	15'300	10'450 à 13'600	11'000	6'500	8'500
% non-VL	4%	4%	8%	3 à 9%	3%	11%	5%
Altitude m.s.m.	460	560	600	670	650	580	570
Déclivité	1 à 2%	6%	4%	1 à 2%	1%	3%	2%

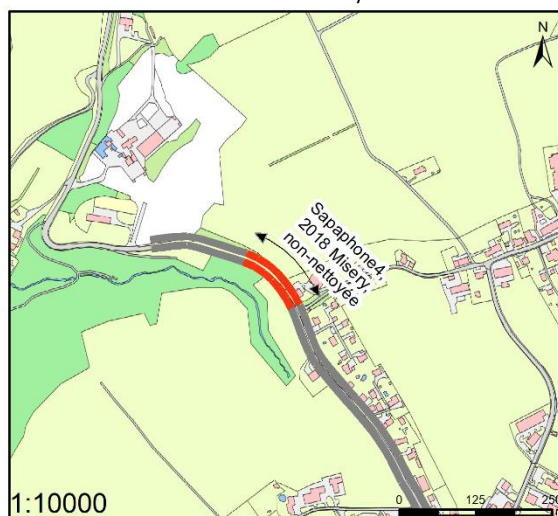
2.1.1 Section d'études nettoyée – non-nettoyée

Pour les sections de Misery et Salvenach, une petite partie de chaque tronçon n'a jamais été nettoyée depuis leur mise en service. A Misery, le tronçon non-nettoyé concerne les deux voies de circulations, tandis qu'à Salvenach, le tronçon non nettoyé se trouve uniquement sur la voie en direction du nord.

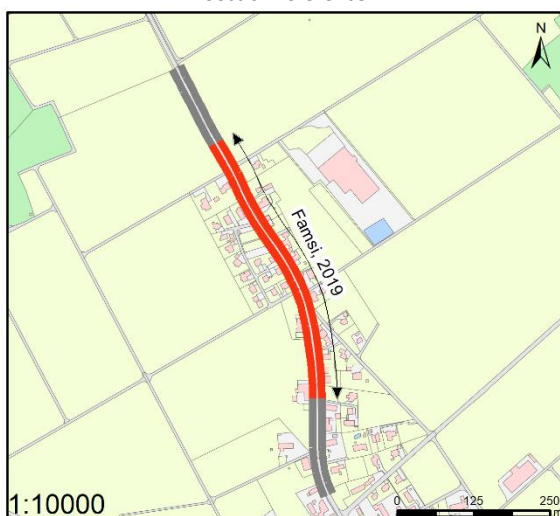
Misery-Courtion, Traversée de Misery, Sapaphone4 (2018),
Section référence



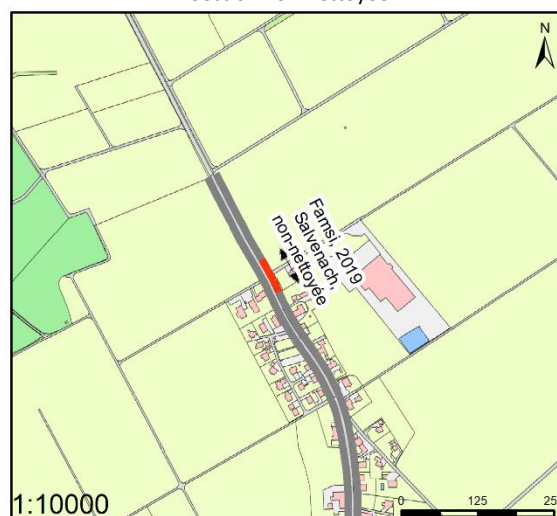
Misery-Courtion, Traversée de Misery, Sapaphone4 (2018),
Section non-nettoyée



Salvenach, Murten, Famsiphonogrip (2019),
Section référence



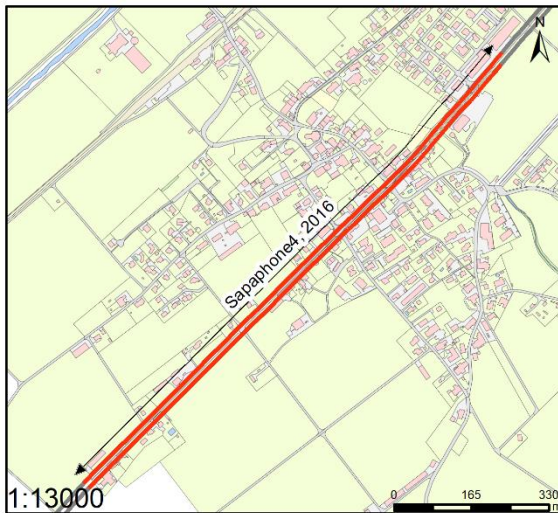
Salvenach, Murten, Famsiphonogrip (2019),
Section non-nettoyée



2.1.2 Sections références

Le tronçon de Dompierre fait l'objet d'un nettoyage sur toute leur longueur, depuis la mise en place de la procédure de nettoyage par le SPC-FR en 2017, soit une année après sa mise en service.

Belmont-Broye, Traversée de Dompierre, Sapaphone4 (2016),



2.2 Programme de mesure

De manière comparable aux précédentes campagnes, le programme de mesure (Tableau 2) comporte, outre une visite *in situ* des sections, des mesures de la performance acoustique (mesure CPX) et de la perméabilité à l'eau.

Par rapport à l'année dernière, les mesures de la texture au moyen de l'essai à la tache de sable et les analyses tomodensitométriques utilisant la méthode *Acoustic Void Content Analysis* (AVCA) sur des carottes prélevées dans les zones nettoyées et non-nettoyées n'ont été effectuées que sur les deux tronçons de test de Misery et Salvenach.

Tableau 2 : Programme de mesure pour la campagne 2021 et rappelle des mesures des précédentes campagnes (2018, 2019, 2020, 2021, 2022).

Mesure	Paramètre	Réalisé par	Mai-Juin 2018		Sep-Oct. 18	Juillet 19	Oct. 19	Oct. 20	Oct. 21	Oct. 22
			Avant net-toyage	Après net-toyage	Après net-toyage	Après net-toyage	Après net-toyage	Après net-toyage	Après net-toyage	Après net-toyage
			0-Me-sure	1-Me-sure	2-Me-sure	3-Me-sure	4-Me-sure	5-Me-sure	6-Mesure	7-Mesure
Visite in situ	État, propreté	Nibuxs	X	-	X	X	X	X	X	X
CPX	Bruit	G+P	X	X	X	X	X	X	X	X
Perméabilité à l'eau	Vides, pores	G+P	X	X	X	X	X	X	X	X
Perméabilité à l'air	Vides, pores	G+P (IMP)	-	X	X	X	X	-	-	-
Photogram-métrie	Texture	G+P	X	X	X	X	X	-	-	-
Tache de sable	Texture	Nibuxs (In-fralab)	-	X	X	X	-	X	X	X
Mesure 3D	Texture	Nibuxs (Pavexpert)	-	-	-	-	-	X	-	-
AVCA (scan 3D)	Pores et col-matage	G+P						X	X	X

Le déroulement des différentes mesures est décrit dans les chapitres suivants.

2.2.1 Prélèvement de carottes et analyse tomodensitométrie

Afin de déterminer l'apport de saleté dans les revêtements poreux, des carottes ont été prélevées et ensuite visualisées par système de tomodensitométrie. Comme la quantité de saleté dans les traces de roues peut être très différente de celle entre les traces, des carottes ont été prélevées à la fois dans les traces de roues ainsi qu'entre les traces. Les points de prélèvement sont représentés schématiquement dans la figure suivante.

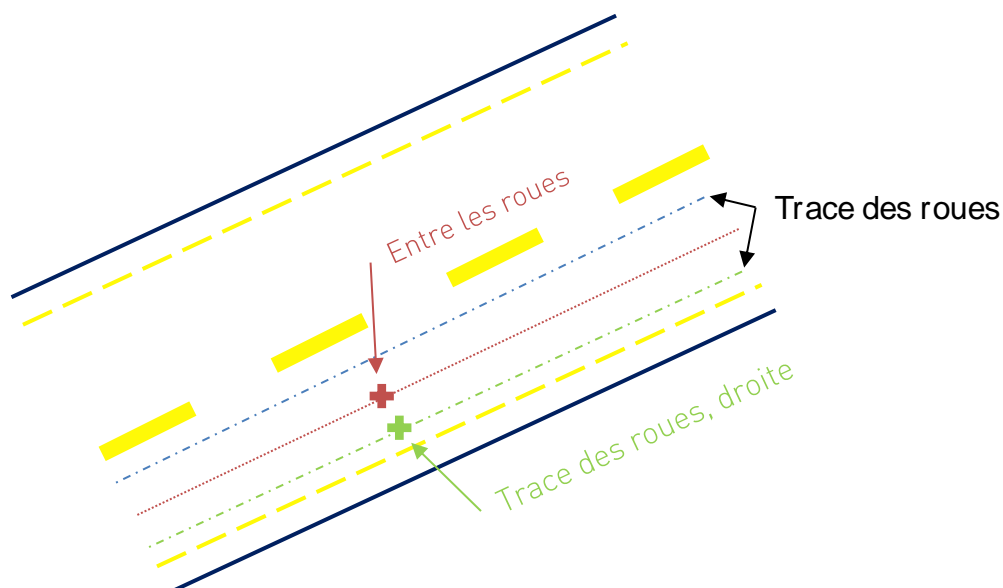


Figure 2 : Illustration schématique des points de prélèvement des carottes

La zone entre les traces de roues est, en principe, une partie de la chaussée moins sollicitée, qui est plus proche de la condition à l'état neuf.

Le Tableau 3 ci-dessous énumère les quatre carottes prélevées sur deux types de revêtements. A Misery et à Salvenach, des carottes ont été prélevées à la fois dans la section de référence et dans la section non-nettoyée. Contrairement à l'année dernière, les carottes n'ont été extraites que sur la trace des roues.

Tableau 3 : Description des quatre carottes prélevées, y compris le type de chaussée, les coordonnées et la direction du déplacement. Point d'extraction, R : Voie des roues, E : entre les roues. Dans l'annexe VI des cartes avec les points d'extractions sont illustrées.

Id	Lieu	X	Y	Point d'extraction	Direction	Revêtement
1736-1	Salvenach, Murten (Référence)	2'577'799	1'196'317	R	Nord	Famsiphongrip4 (2019)
1736-2	Salvenach, Murten (Non-nettoyée)	2'577'718	1'196'461	R	Nord	Famsiphongrip4 (2019)
1737-1	Misery, (Non-nettoyée)	2'571'317	1'189'510	R	Sud	Sapaphone4 (2018)
1737-2	Misery (Référence)	2'571'463	1'189'289	R	Sud	Sapaphone4 (2018)

Le prélèvement des carottes a été effectué par Laboroute SA. Après leur extraction, les échantillons ont été forés à un diamètre de 5 cm au laboratoire. Le forage est important pour que les échantillons puissent être scannés par le tomodensitomètre, car la résolution d'un échantillon trop grand peut être réduite.

L'examen CT a été effectué par l'Institut fédéral d'essai des matériaux à Berlin (Allemagne). Le résultat de la tomodensitométrie est un nombre d'images à tons gris en trois dimensions. Les images 3D ont une résolution de 30 µm. Ces données ont été examinées en utilisant la méthode *Acoustic Void Content Analysis* (AVCA) de G+P. Un algorithme de reconnaissance est utilisé pour classer les différents composants des images 3D sur la base de la forme et de la couleur en 3 dimensions dans les composants roche, mastic, pores et saletés. Il est ainsi possible d'examiner les différentes composantes et l'interconnexion des pores.

2.2.2 Mesures CPX

Des mesures CPX ont été effectuées sur toutes les tronçons. Les mesures ont été réalisées à une vitesse de référence de 50 km/h. Au minimum trois trajets de mesure ont été effectués par type de pneumatique et par voie de roulement. Deux types de pneumatiques ont été testés, soit six trajets de mesure par voie de circulation.

Heure et date des mesures

Les mesures ont été effectuées le lundi 18.10.2021 entre 10:30 et 17:00 heures. Cela correspond à peu près à la période de mesure de l'année dernière.

Conditions météorologiques

Pendant la période de relevé, il n'y a eu ni vent ni précipitations. Les routes étaient sèches. La température atmosphérique variait de 5.5°C à 17°C (mesurée à 1.5 m du sol).

Bruits parasites

Pendant la durée des opérations de mesure, aucun bruit parasite particulier provoqué par exemple par le passage extrêmement bruyant de camions, de tracteurs ou d'avions survolant la zone, etc. ne s'est produit.

Étalonnage

Les appareils de mesure ont été étalonnés avant le début des mesures avec un calibre acoustique. Cet étalonnage a été répété et vérifié pendant les pauses et à la fin des relevés. Aucun écart n'a été constaté.

Particularités

Les résultats de mesures réalisées dans un virage peuvent différer de ceux d'un tronçon rectiligne. L'influence d'un virage à grand rayon de courbure sur le résultat moyen du tronçon est en général faible. Néanmoins, les segments de mesures présentant un biais clair dû à la courbure de la chaussée n'ont pas été considérés dans l'évaluation. Cependant, les segments en courbes sur lesquels la vitesse de référence a pu être maintenue ont été conservés.

Le respect de la vitesse de référence n'a pas toujours été possible aux abords de ronds-points. Les segments de route concernés, sur lesquels la marge de tolérance définie par la norme n'a pas été respectée, ont été exclus de l'analyse.

Les segments présentant des perturbations dues à des regards, des défauts de planimétrie, des voies ferrées, des passages piétons ou autres marquages n'ont pas été retenus dans l'évaluation du revêtement.

2.2.3 Analyses texture 3D en parcelles (photogrammétrie)

Les analyses de texture ont été effectuées aux mêmes endroits que lors de la campagne de 2020, afin de pouvoir établir des comparaisons avec les résultats des mesures de l'année dernière.

Pour l'analyse détaillée de la texture de la surface de la chaussée, un total de huit analyses de texture a été effectué sur des parcelles de 2 x 20 cm. L'accent a été mis principalement sur les itinéraires comportant des tronçons dont une partie n'est pas nettoyée. Cela signifie que l'enquête a été limitée à Misery et Salvenach (Murten). Le tableau suivant indique les lieux de mesure :

Tableau 4 : Description des huit lieux de mesure pour les analyses de textures en parcelles, y compris le type de chaussée, les coordonnées et la direction du déplacement. Point d'extraction, R : Voie des roues, E : entre les roues. Dans l'annexe VI des cartes avec les points d'extractions sont illustrées.

Id	Ort	X	Y	Point d'extraction	Direction	Revêtement
1	Salvenach, Murten (Référence)	2'577'799	1'196'317	R	Nord	Famsiphongrip4 (2019)
2	Salvenach, Murten (Référence)	2'577'798	1'196'316	E	Nord	Famsiphongrip4 (2019)
3	Salvenach, Murten (Non-nettoyée)	2'577'718	1'196'461	R	Nord	Famsiphongrip4 (2019)
4	Salvenach, Murten (Non-nettoyée)	2'577'717	1'196'460	E	Nord	Famsiphongrip4 (2019)
7	Misery, (Non-nettoyée)	2'571'317	1'189'510	R	Sud	Sapaphone4 (2018)
8	Misery, (Non-nettoyée)	2'571'318	1'189'510	E	Sud	Sapaphone4 (2018)
9	Misery (Référence)	2'571'463	1'189'289	R	Sud	Sapaphone4 (2018)
10	Misery (Référence)	2'571'464	1'189'289	E	Sud	Sapaphone4 (2018)

La texture montre que les zones entre les traces de roues sont plus proches de la situation à l'état neuf en raison de la charge de trafic plus faible. Comme aucune mesure de l'état neuf n'est disponible, ces mesures entre les traces de roues doivent être utilisées pour expliquer les différences.

Les enregistrements de textures 3D ont été effectuées le même jour que les mesures CPX. La mesure est basée sur une méthode optique, sans contact. À partir de la numérisation de la surface de la route, un modèle de surface 3D à haute résolution est créé. À partir de ce modèle de surface 3D à haute résolution, la surface de la route est caractérisée par G+P à travers divers paramètres de texture

2.2.4 Mesures de la perméabilité à l'eau

La série de mesures de la perméabilité à l'eau a été poursuivie sur les 3 tronçons avec des mesures CPX. Pour les tronçons de tests de Salvenach et de Misery, une mesure a été effectuée à la fois sur le tronçon de référence et

sur le tronçon non nettoyé. Les mesures de perméabilité à l'eau représentent un indicateur de l'accessibilité des espaces poreux. Ces mesures ont été effectuées aux mêmes endroits que les années précédentes. La voie de droite est mesurée dans chaque cas. L'emplacement exact de la mesure est présenté en annexe VII, p. 82.

2.2.5 Mesure de la texture à la tâche de sable

Les mesures de la profondeur de texture par la méthode à la tache de sable (selon SN 640-511-1) permettent de contrôler de manière simple et rapide une évolution de la texture de l'enrobé. Ces mesures ont pour but de vérifier que la texture n'a pas été endommagée par les nettoyages. Pour chaque section, les profondeurs de texture sont évaluées sur 20 points de mesures répartis entre et dans les bandes de roulement. Les mesures de chaque campagne sont réalisées par le même laboratoire et sur les mêmes points de mesures, ceci afin d'améliorer la répétabilité de l'essai.

Les mesures ont été réalisées par Infralab le 07.10.2022.

3 Résultats

Ce chapitre synthétise les résultats de mesure de la campagne 2022. L'annexe IV présente les plans d'ensemble ainsi que les résultats des mesures CPX par rapport au modèle d'émission StL-86+. L'annexe V comporte quant à elle les protocoles de mesure par sens de circulation.

3.1 Visite *in situ* des secteurs

Comme lors des précédentes campagnes, les sections ont été visitées après les nettoyages réalisés en 2022 et préalablement aux mesures acoustiques afin d'évaluer leur état de propreté et déceler l'apparition d'éventuelles dégradations à la surface des revêtements phono-absorbants.

Les observations effectuées lors de la visite du 27.09.2022 sont consignées dans le tableau ci-dessous.

		Dompierre	Misery	Salvenach
		2016, Sapaphone 4	2018, Sapaphone 4	2019, Famsiphongrip
Observations après 2 ^{ème} nettoyage de 2022 et avant mesures (27.09.2022)	Enrobé : état général	<ul style="list-style-type: none"> - État général moyen - Texture uniforme relativement ouverte - Perte de gravillon généralisé - Fissure autour d'une grille - Qq arrachement 	<ul style="list-style-type: none"> - État général bon - Qq défauts - Fissures isolées : 1 fissure de bord et 1 fissure transversale dans la zone non-nettoyée - Probablement marque de chaîne à neige locale - Marques de lame de chasse-neige local - Fissures de joint en 2 zones - Texture uniforme légèrement ouverte 	<ul style="list-style-type: none"> - État général bon - 2 arrachements - Texture fine - Cohésion grains-bitume encore grande
	Intensité de la saleté	Léger à localement moyen (pluie récente)	Léger à localement moyen (pluie récente)	Léger à localement marqué
	Répartition spatiale	Centre & ouest plus sale	Homogènement peu sale, saleté locale	Saleté présente à la fin du tronçon (côté sud)
	Nature, origine	<ul style="list-style-type: none"> - Terre agricole - Gravier à proximité d'un chemin d'accès 	<ul style="list-style-type: none"> - Terre agricole - Herbes de fauchage - Graviers 	<ul style="list-style-type: none"> - Chantier de villa - Ferme
SPC	Nettoyage 2022	2 fois	2 fois	2 fois

L'état et l'état de propreté des tronçons a été observé visuellement lors de la visite du 27.09.2022.

L'état des enrobés est relativement stable ces dernières années, avec toutefois l'apparition de quelques dégâts localisés tels que des fissures, des arrachements ou des déformations. Le revêtement le plus âgé (Dompierre, 2016) présente des pertes de gravillons sur toute sa longueur : sa texture commence à s'ouvrir. Le revêtement de Dompierre est généralement dans un état moyen. Le revêtement de Misery, avec sa texture légèrement ouverte, est encore dans un bon état. Enfin, le revêtement de Salvenach est encore dans un bon état général 3 ans après sa pose. De manière logique, l'état général des revêtements décroît avec l'âge.

Les 3 tronçons inspectés présentaient un état de salissures assez léger, avec des zones où localement la saleté était un peu plus marquée. A Salvenach, la présence d'exploitations agricoles et d'un chantier de villa semble amener ponctuellement davantage de saleté. Sur les autres sections, du gravier ainsi que de l'herbe de fauchage (Misery) ont été rapportés.

L'ensemble des revêtements étudiés ont été nettoyés 2 fois au cours de l'année 2022, avant les mesures réalisées en octobre.

En Figure 3, pour la section de Salvenach, la présence d'un chantier à l'extrémité nord du tronçon amène et va amener de la saleté supplémentaire durant les travaux, saleté susceptible de colmater les pores. Il est possible que cela engendre une diminution plus rapide des qualités acoustiques du revêtement.

En Figure 4, pour la section de Dompierre, le croisement avec la route de Russy montre la saleté engendrée par la présence des fermes aux alentours. Cette saleté correspond à l'emplacement du début d'un pic dans la perte des qualités acoustiques du revêtement (voir 3.2.5).

En Figure 5, toujours pour Dompierre, la saleté est observée à proximité du croisement avec la route Bord-Des-sus. Cette saleté se propage sur la voie en direction du sud. Ce croisement correspond au début d'un pic de diminution des propriétés acoustiques du revêtement. L'hypothèse d'un colmatage des pores de surface par la saleté semble être étayée par cette observation.



Figure 3 : Présence d'un chantier à Salvenach



Figure 4 : Saleté localement importante à Dompierre (au croisement avec Rte de Russy)



Figure 5 : Saleté moyenne au croisement du tronçon de Dompierre avec la route Bord-Dessous (vue vers le sud-ouest)

3.2 Analyses CPX

Le Tableau 5 comporte les performances acoustiques des revêtements converties selon un modèle de régression et comparées au modèle StL-86+. Il s'agit de valeurs moyennes de tronçon, relevées dans les deux sens de déplacement, pour un trafic mixte avec 10% de Nt₂. Comme tous les tronçons initiaux n'ont pas été mesurés par rapport la campagne 2022, certaines lignes du tableau ci-dessous sont grisées.

Tableau 5 : Valeurs mesurées de la qualité du revêtement CPX pendant la campagne 2018 et la campagne 2022. Trafic mixte avec 10% Nt₂.

Lieu	2018	2019	2020	2021	2022	$\Delta_{2022-2021}$
	L _{CPX} TM 10% [dB(A)]	L _{CPX} TM 10% [dB(A)]	L _{CPX} TM 10% [dB(A)]	L _{CPX} TM 10% [dB(A)]	L _{CPX} TM 10% [dB(A)]	L _{CPX} TM 10% [dB(A)]
Flamatt-Ueberstorf Famsiphonogrip, 2016	-5.5	-4.9	-4.2	-3.5	-	-
Avry, Rosé Famsiphonogrip, 2017	-6.4	-5.2	-4.9	-3.6	-	-
Belfaux, Rosière Famsiphonogrip, 2017	-6.5	-4.7	-3.8	-3.2	-	-
Tafers, Mariahilfstr. Famsiphonogrip, 2018	-7.4	-6.0	-4.6	-3.5	-	-
Salvenach, Murten (référence) Famsiphonogrip, 2019			-7.4	-6.7	-6.3	0.5
Salvenach, Murten, non-nettoyée Famsiphonogrip, 2019			-6.9	-6.4	-6.3	0.2
Salvenach, Traversée de la localité Nanosoft4, 2017	-7.0		-4.7	-4.5	-	-
Dompierre Sapaphone4, 2016	-6.8	-6.1	-6.0	-5.6	-4.5	1.1
Misery (référence) Sapaphone4, 2018	-6.9	-6.6	-6.2	-5.7	-4.8	0.9
Misery, non-nettoyée Sapaphone4, 2018	-7.8	-4.9	-4.0	-3.8	-2.7	1.1

Commentaires:

- Le tronçon à Dompierre et Misery, non-nettoyée ont perdu 1.1 dB par rapport à la mesure précédente. Ces pertes sont les plus élevées depuis le début des mesures en 2018.
- Les tronçons de Salvenach (nettoyés (référence) et non nettoyés) présentent en 2022 exactement la même qualité acoustique de revêtement. Par conséquent, d'un point de vue acoustique, aucun effet du nettoyage ne peut être identifié à cet endroit si on considère le tronçon dans son ensemble.

La Figure 6 montre l'évolution de la qualité acoustique du revêtement mesurée avec la méthode CPX pour une part de N₂ de 10%. Il en ressort principalement que les tendances des dernières années se sont poursuivies. Le revêtement qui a le meilleur effet à long terme est toujours celui de Dompierre, même si celui-ci a perdu 1,1 dB par rapport à l'année dernière.

Les deux tronçons de test de Misery et de Salvenach (Murten) sans nettoyage se sont comportés à peu près de la même manière que l'année précédente par rapport à leur partie nettoyée. Aucune amélioration de la qualité acoustique du revêtement n'a été constatée sur les tronçons nettoyés en comparaison avec leur partie non

nettoyée. A Salvenach (Murten), on constate que le tronçon de référence et le tronçon non nettoyé présentent des valeurs égales lors de la dernière mesure (-6.3 dB). A Misery, l'écart entre le tronçon de référence et le tronçon non nettoyé est toujours d'environ 2 dB, et ce depuis 2019 déjà, soit 1 an après sa pose.

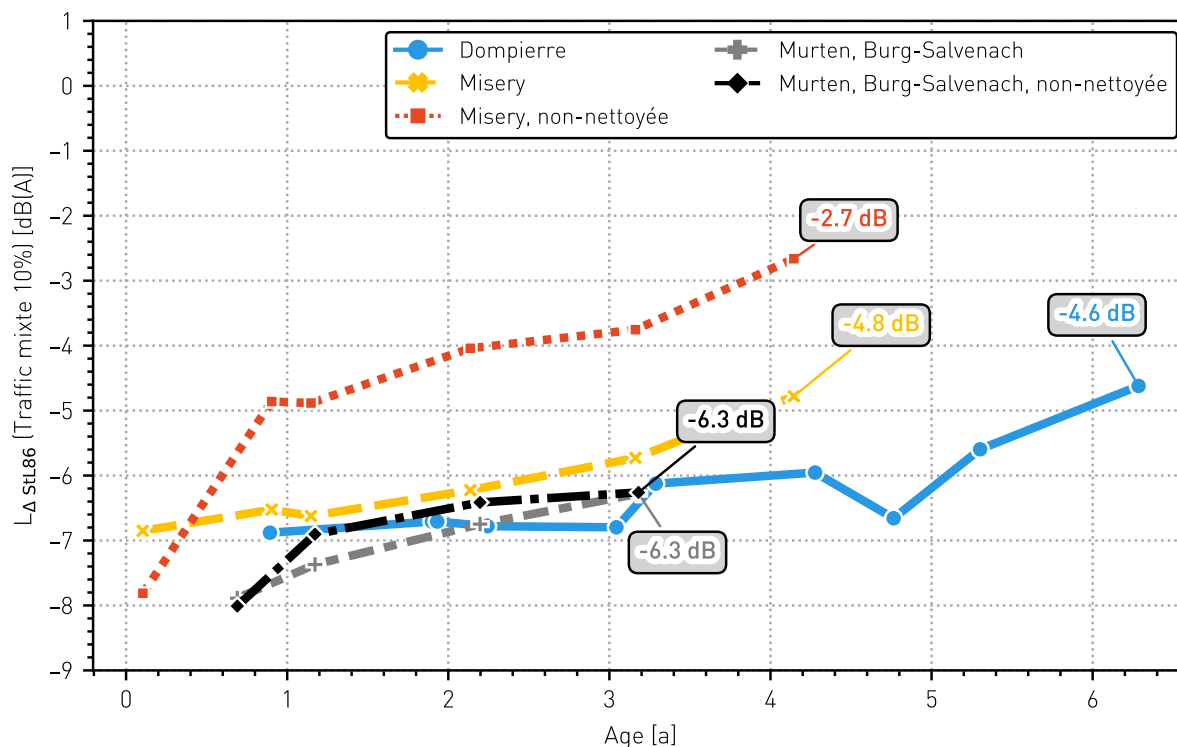


Figure 6 : Evolution des valeurs CPX (trafic mixte, N_{t2} : 10%) des tronçons de l'étude.

3.2.1 Evolution des fréquences basses

Les basses fréquences du spectre CPX sont très sensibles aux changements de texture, en particulier dans le cas des pneus des véhicules légers. Cette fréquence est donc considérée comme indicative des changements de texture et montre par exemple les pertes des grains.

La Figure 7 décrit l'évolution des valeurs CPX des basses fréquences (315 Hz) des tronçons de l'étude. Il est remarquable de constater à quel point la qualité acoustique se dégrade de manière très linéaire par rapport à l'âge de la chaussée.

Sur les deux tronçons de test de **Misery** et **Salvenach (Murten)** les valeurs CPX des basses fréquences (315 Hz) ont évolué de manière similaire depuis les mesures initiales en valeur absolue. Comme les valeurs CPX pour 315 Hz sont légèrement plus basses sur les sections de référence que sur les sections non-nettoyées, on peut constater que la texture de la surface de la chaussée n'a pas été détériorée par le nettoyage.

On constate par ailleurs que le revêtement le plus ancien (Dompierre) présente également les valeurs les plus élevées.

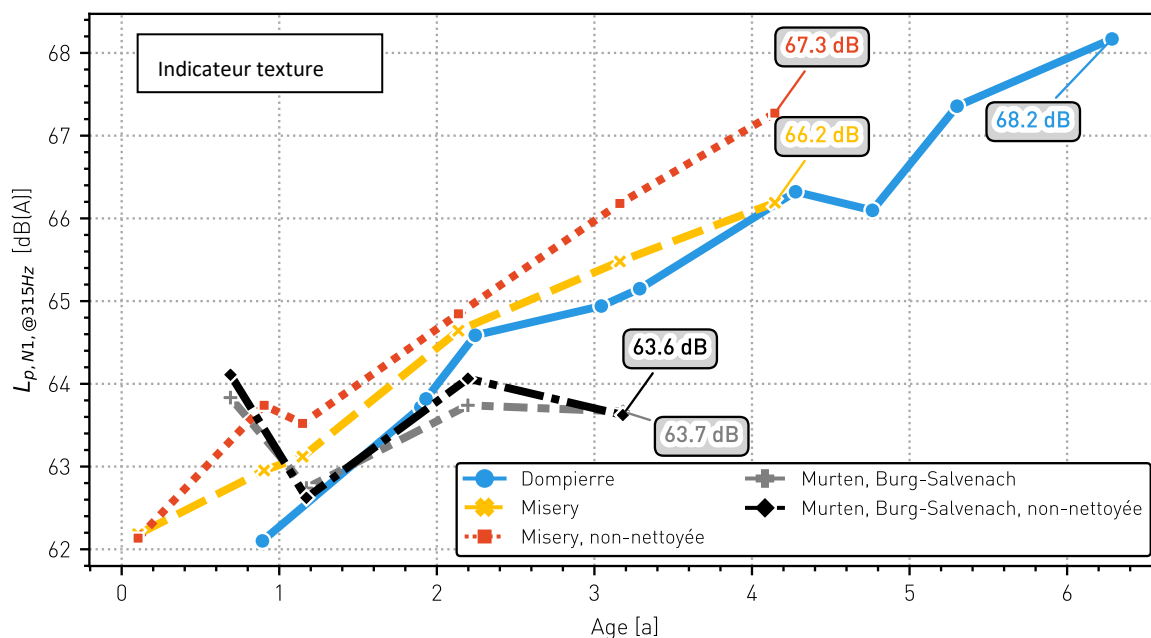


Figure 7 : Evolution des valeurs CPX des basses fréquences (315 Hz) des tronçons de l'étude. Les basses fréquences du spectre CPX (véhicules légers) sont sensibles aux changements de texture, c'est pourquoi cette fréquence peut être utilisée comme fréquence indicatrice des changements de texture.

3.2.2 Evolution des fréquences moyennes

Les fréquences moyennes du spectre CPX représentent les propriétés d'absorption du revêtement. Cela signifie qu'un revêtement très performant présente une absorption accrue dans les fréquences moyennes. La Figure 8 montre qu'une augmentation de la bande de fréquence s'est produite sur tous les revêtements examinés. Cette valeur semble tendre vers une valeur « maximale » sous la forme d'une courbe exponentielle.

Il existe de grandes différences entre les tronçons étudiés. Alors que Misery (section non-nettoyée) se rapproche très rapidement de cette valeur, il existe des revêtements dont la progression est plutôt plus lente. Par conséquent, les propriétés d'absorption semblent avoir été davantage préservées sur ces revêtements.

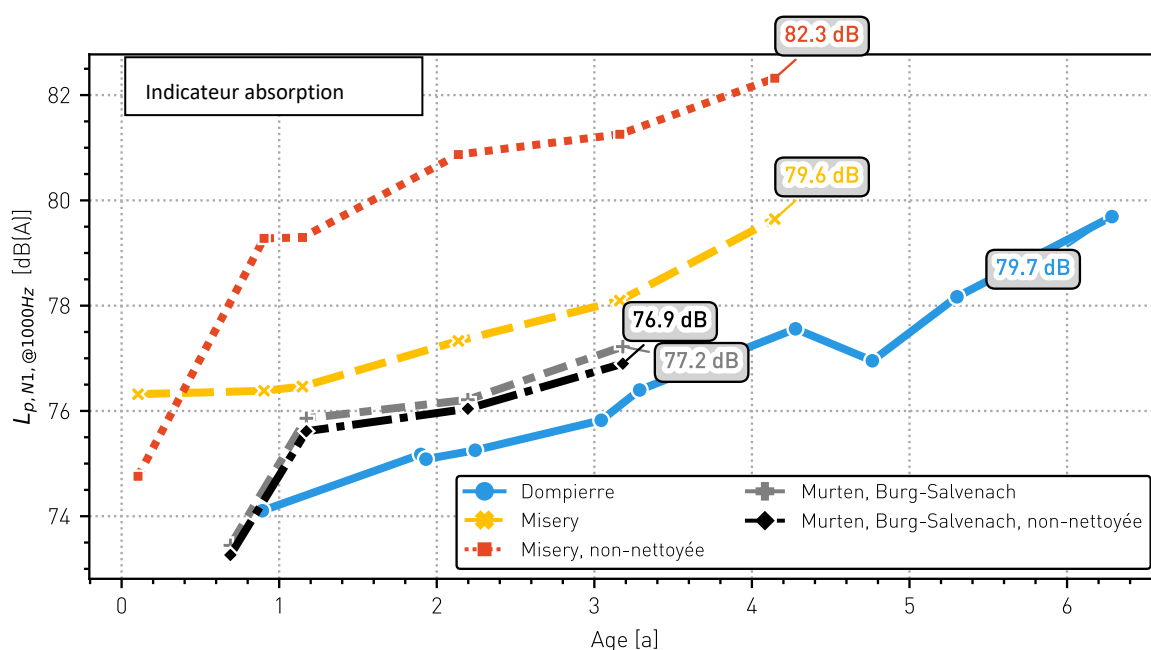


Figure 8 : Evolution des valeurs CPX des moyennes fréquences (1000 Hz) des tronçons de l'étude. Les moyennes fréquences du spectre CPX (véhicules légers) sont sensibles aux changements de l'absorption, et donc, les pores qui sont accessibles.

3.2.3 Analyses spectrales

Les figures suivantes présentent l'analyse de fréquence du bruit de roulement des mesures CPX pour les pneumatiques de véhicules légers et de poids lourds (voir détail annexe 2). Sur le graphique ci-dessous, on compare la performance de chaque revêtement mesuré lors des différentes campagnes (valeur moyennée sur la totalité de la mesure) à une situation de référence (revêtement SMA 11, un an après la pose).

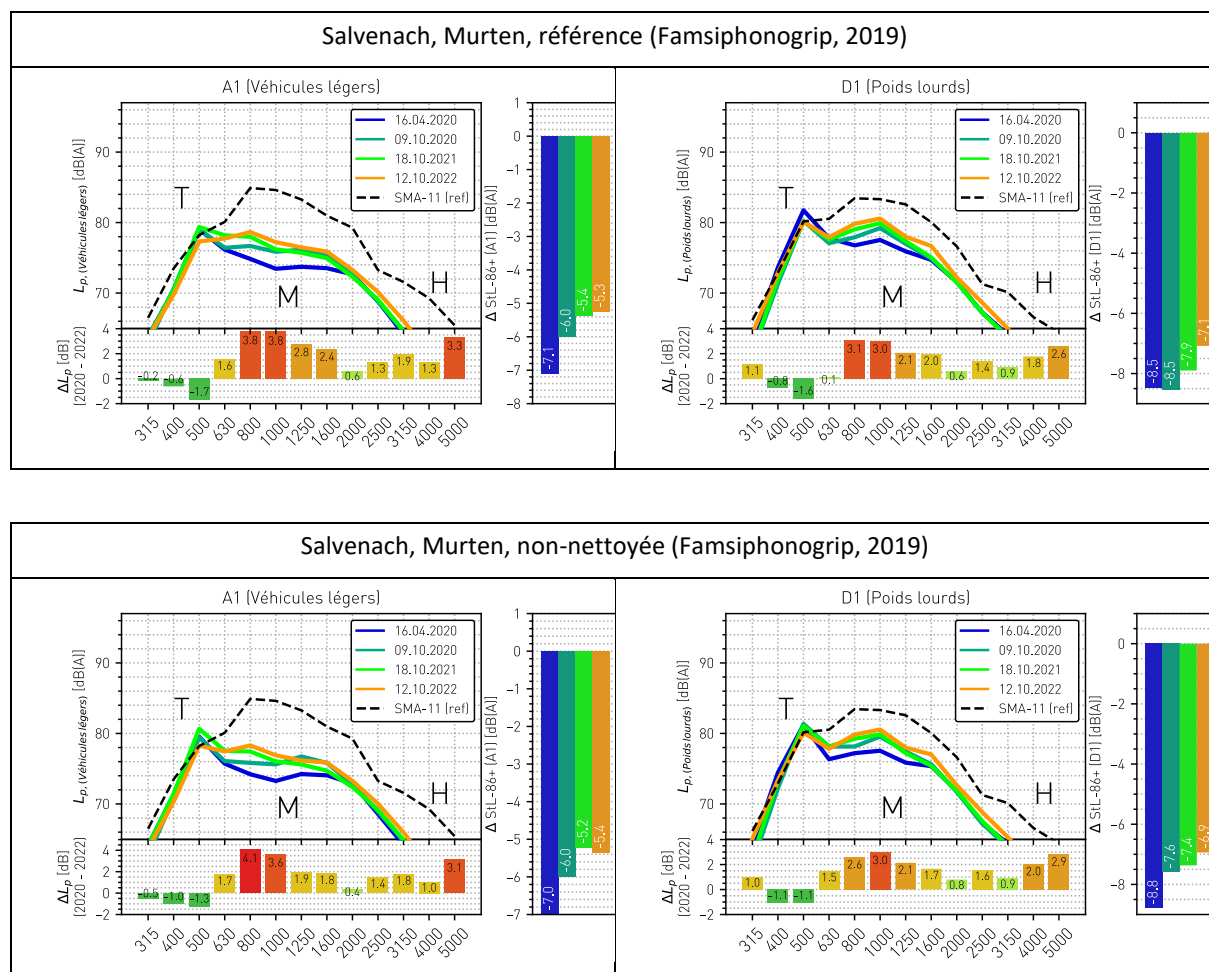


Figure 9 : Analyse de fréquence des mesures CPX pour des pneumatiques de véhicules légers et lourds en dB(A) (valeur moyenne par type de revêtement) du tronçon test de Salvenach (Murten).

Commentaires :

- Le revêtement de type Famsiphonogrip posé en 2019 à Salvenach, présente des émissions sonores très similaires à l'état initial sur la section de référence et la section non-nettoyée.
- Les émissions sonores dues aux pneumatiques des véhicules légers sont plus basses en comparaison avec la situation de référence (revêtement SMA 11), en particulier pour les moyennes (M) et hautes (H) fréquences. Cette réduction des émissions est moins prononcée pour les poids lourds.
- Par rapport à la mesure initiale, le revêtement a perdu environ 0.5 dB(A) d'efficacité acoustique sur les deux sections.

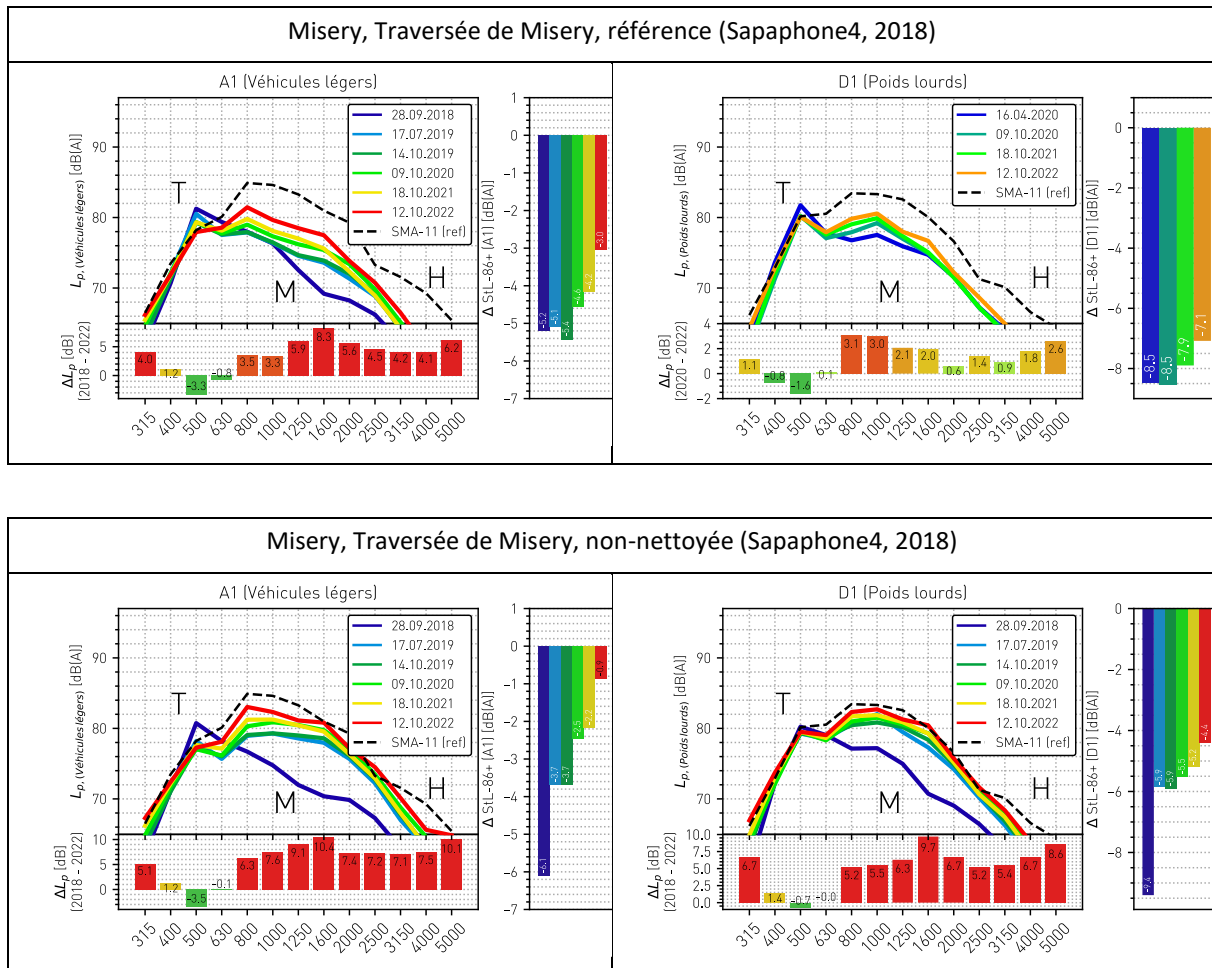


Figure 10 : Analyse de fréquence des mesures CPX pour des pneumatiques de véhicules légers et lourds en dB(A) (valeur moyenne par type de revêtement) du tronçon test de Misery.

Commentaires :

- Quatre ans après sa pose, le revêtement de type Sapaphone4 mis en œuvre en 2018 sur la traversée de Misery, présente des émissions sonores nettement meilleures sur la section nettoyée que sur la section non-nettoyée.
- Les émissions sonores dues aux pneumatiques des véhicules légers et lourds sont plus basses en comparaison à la situation de référence (revêtement SMA 11), en particulier pour les moyennes (M) et hautes (H) fréquences sur la section nettoyée. Sur la section non-nettoyée, cette réduction des émissions est moins prononcée.
- Par rapport à la mesure initiale, le revêtement a perdu environ 2 dB(A) d'efficacité acoustique sur la section de référence et 5 dB(A) sur la section non-nettoyée.
- En observant les spectres de la section non-nettoyée, on constate que la plus grande détérioration de la qualité acoustique s'est produite au cours de la première année après la pose. On constate cependant, même les années suivantes, un vieillissement légèrement meilleur sur la section de référence que sur la section non-nettoyée.

- Comparées aux mesures initiales, les émissions sonores dues aux pneumatiques des véhicules légers et lourds sont plus hautes pour les moyennes (M) et hautes (H) fréquences. Cette augmentation est moins prononcée sur la section nettoyée.

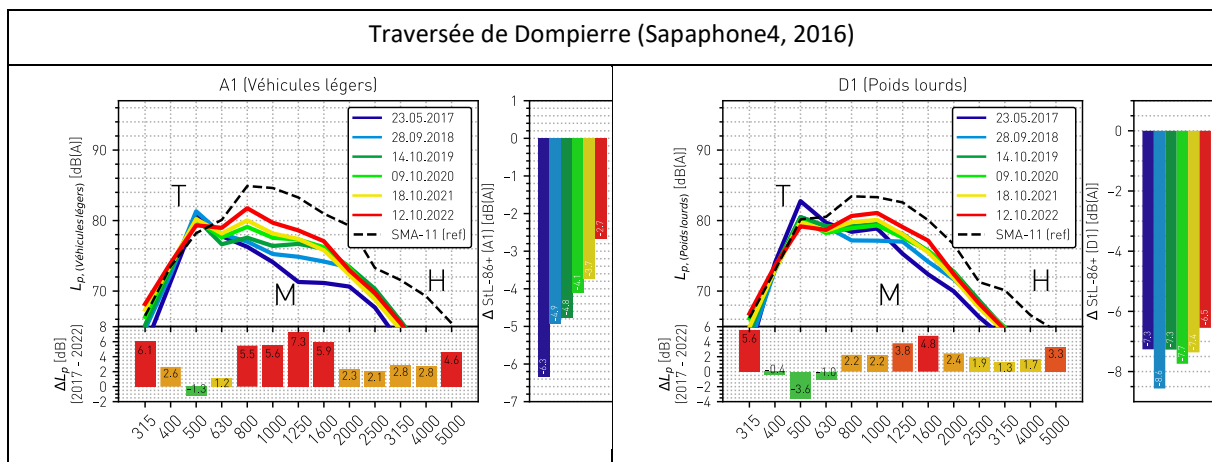


Figure 11: Analyse de fréquence des mesures CPX pour des pneumatiques de véhicules légers et lourds en dB(A) (valeur moyenne par type de revêtement) du revêtement de type Sapaphone4 posé en 2016 sur la traversée de Dompierre.

Commentaires :

- Cinq ans après sa pose le Sapaphone4 posée sur la traversée de Dompierre présente toujours une bonne qualité acoustique. Les émissions sonores dues aux pneumatiques des véhicules légers et lourds sont plus basses en comparaison à la situation de référence (revêtement SMA 11), en particulier pour les moyennes (M) et hautes (H) fréquences.
- Comparée à la mesure initiale, les émissions sonores dues aux pneumatiques des véhicules légers sont plus hautes pour les basses (315 Hz), moyennes (M) et hautes (5000 Hz) fréquences. Pour les poids lourds, on constate une légère diminution des émissions sonores dans les basses (400 – 630 Hz) fréquences.

3.2.4 Inhomogénéités sur le tronçon de Misery

Le tronçon de Misery présente des inhomogénéités entre les deux sens de circulation concernant ses performances acoustiques. La voie en direction du sud présente des valeurs de qualité acoustique nettement moins bonnes que la voie opposée, surtout aux endroits où les analyses de perméabilité à l'eau ont été effectuées (Voir Figure 12). En moyenne, la voie en direction du sud présente des valeurs de qualité acoustique inférieures d'environ 1 dB(A) à celles de la voie en direction du nord pour les mesures actuelles.

Comme on peut le voir sur la Figure 12, les qualités acoustiques du revêtement ne diffèrent que très peu sur l'ensemble du tronçon dans le sens de la circulation vers le nord. Si on considère l'évolution de la qualité acoustique du revêtement sur l'ensemble du tronçon en direction du sud à Misery, on constate que la zone où la qualité du revêtement est moins bonne se déplace manifestement de plus en plus (Voir segments 18-25). Ceci est très bien illustré sur la Figure 12. La perte de la qualité acoustique du revêtement dans la zone des segments 45 - 51 est également visible. La raison de cette augmentation est également visible dans les fréquences moyennes, et on peut donc supposer que l'accessibilité des pores s'est détériorée dans cette zone. Dans ce sens

de circulation, cela pourrait indiquer que la saleté présente dans la zone non-nettoyée (Direction sud, segments 10-14) s'est progressivement déplacée au début de la zone nettoyée (segments 15-25).

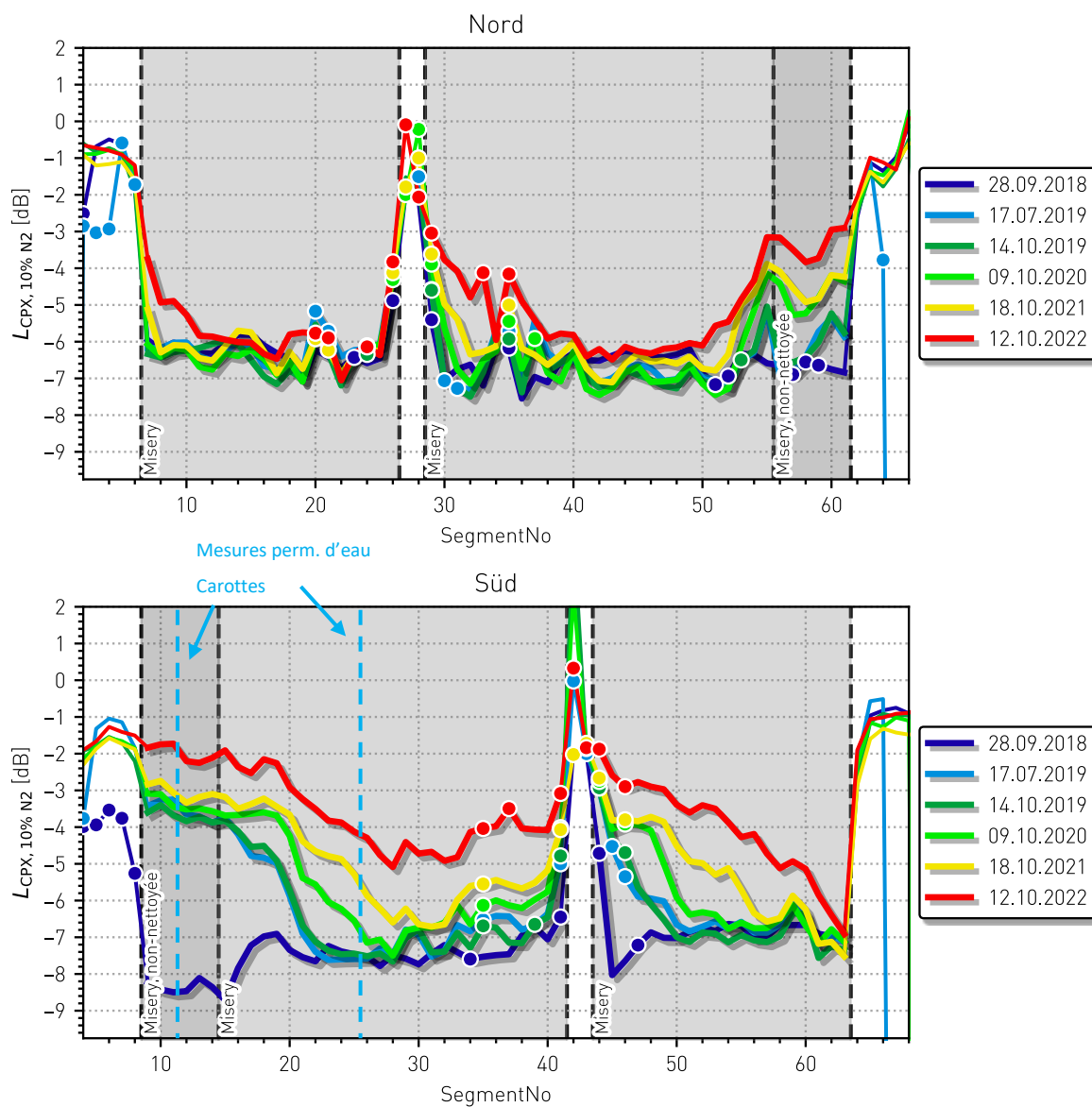


Figure 12 : Qualité acoustique (véhicules légers) du revêtement à Misery, en direction du sud.

Pour comprendre la segmentation de la Figure 12, la segmentation du tronçon à Misery est illustrée dans la Figure 13.

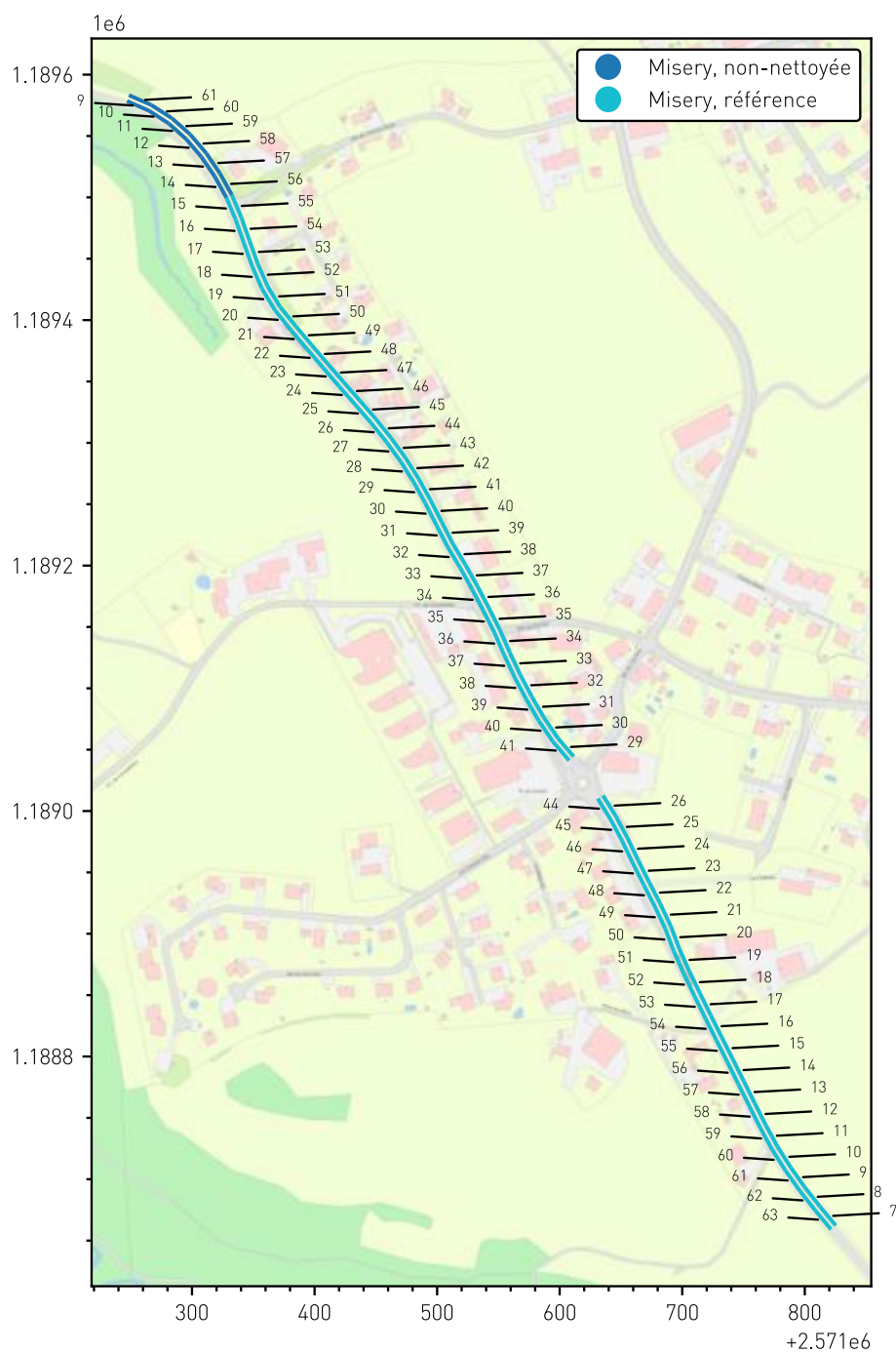


Figure 13 : Segmentation du tronçon à Misery.

3.2.5 Itinéraire Dompierre

Tout comme pour Misery, la qualité acoustique du revêtement de Dompierre se comporte parfois de manière très différente le long de ce dernier. Tandis que la qualité acoustique du revêtement n'a guère diminué sur le premier tronçon en direction du nord, on constate que la qualité de la chaussée a augmenté sur le second tronçon. Cela apparaît clairement dans le segment numéro 50. À cet endroit, il y a un saut significatif dans la qualité acoustique du revêtement. ($\sim +2,5$ dB). Cette augmentation se trouve au carrefour de la route de Russy en direction Nord. Ici, on constate que les premiers segments après le carrefour ont nettement moins bien vieilli que les segments suivants.

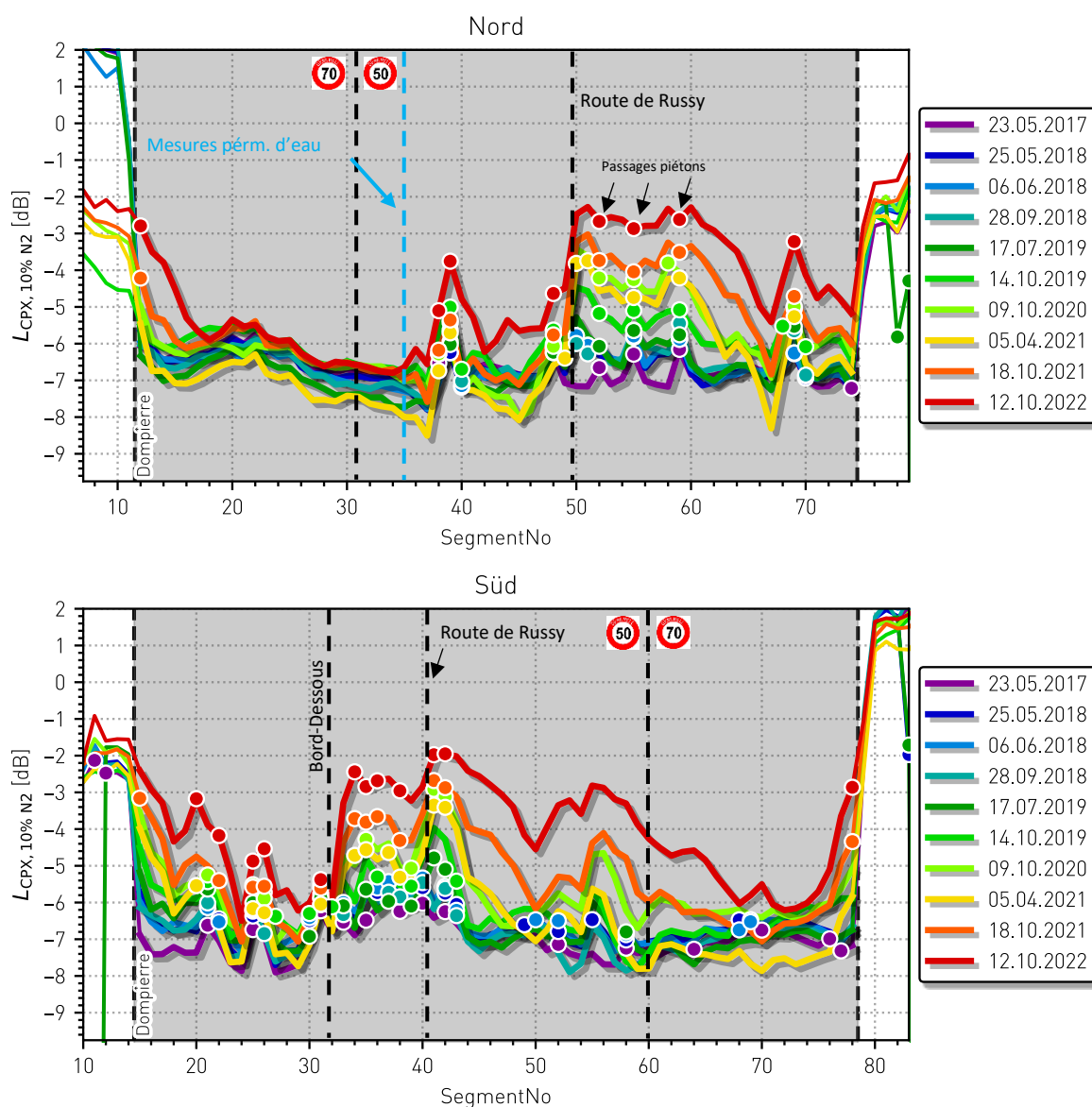


Figure 14 : Evolution de la qualité acoustique du revêtement dans le sens de circulation nord (en haut) et sud (en bas) pour un trafic mixte avec 10% de Nt_2 .

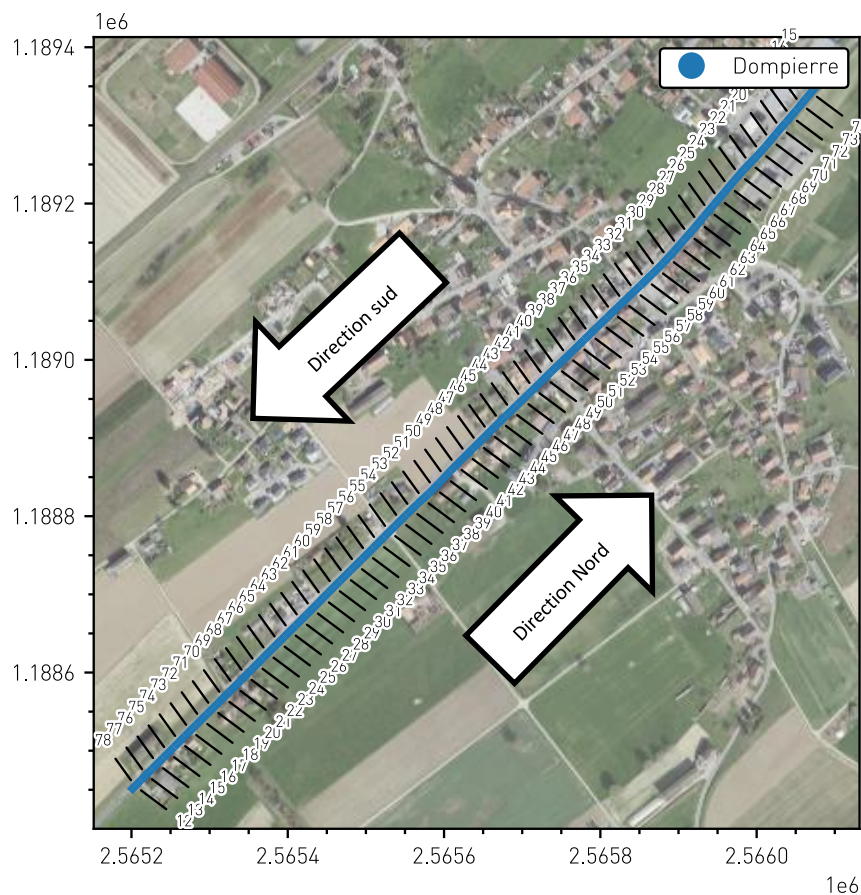


Figure 15 : Vue aérienne de Dompierre avec les numéros de segment CPX. Source : Fond de la carte : © swisstopo

Un profil similaire est également observé sur le tronçon en direction du sud. Dans ce cas, le saut vers des qualités de revêtement nettement moins bonnes se situe à la hauteur du segment 32, au croisement avec la route Bord-Dessous. La qualité acoustique du revêtement reste ensuite nettement réduite, mais augmente à nouveau vers la fin du parcours, vers le segment numéro 65.

Lors de l'analyse du saut de la qualité acoustique du revêtement, la photo aérienne de swisstopo a fourni une indication intéressante : une bande blanche est visible au milieu de la chaussée sur la photo aérienne (cf. Figure 16). Dès que cette bande est visible, la qualité acoustique du revêtement est nettement diminuée (Figure 14). Ceci est visible aussi bien dans le sens sud (bifurcation route Bord-Dessous) que dans le sens nord (bifurcation Route de Russy).

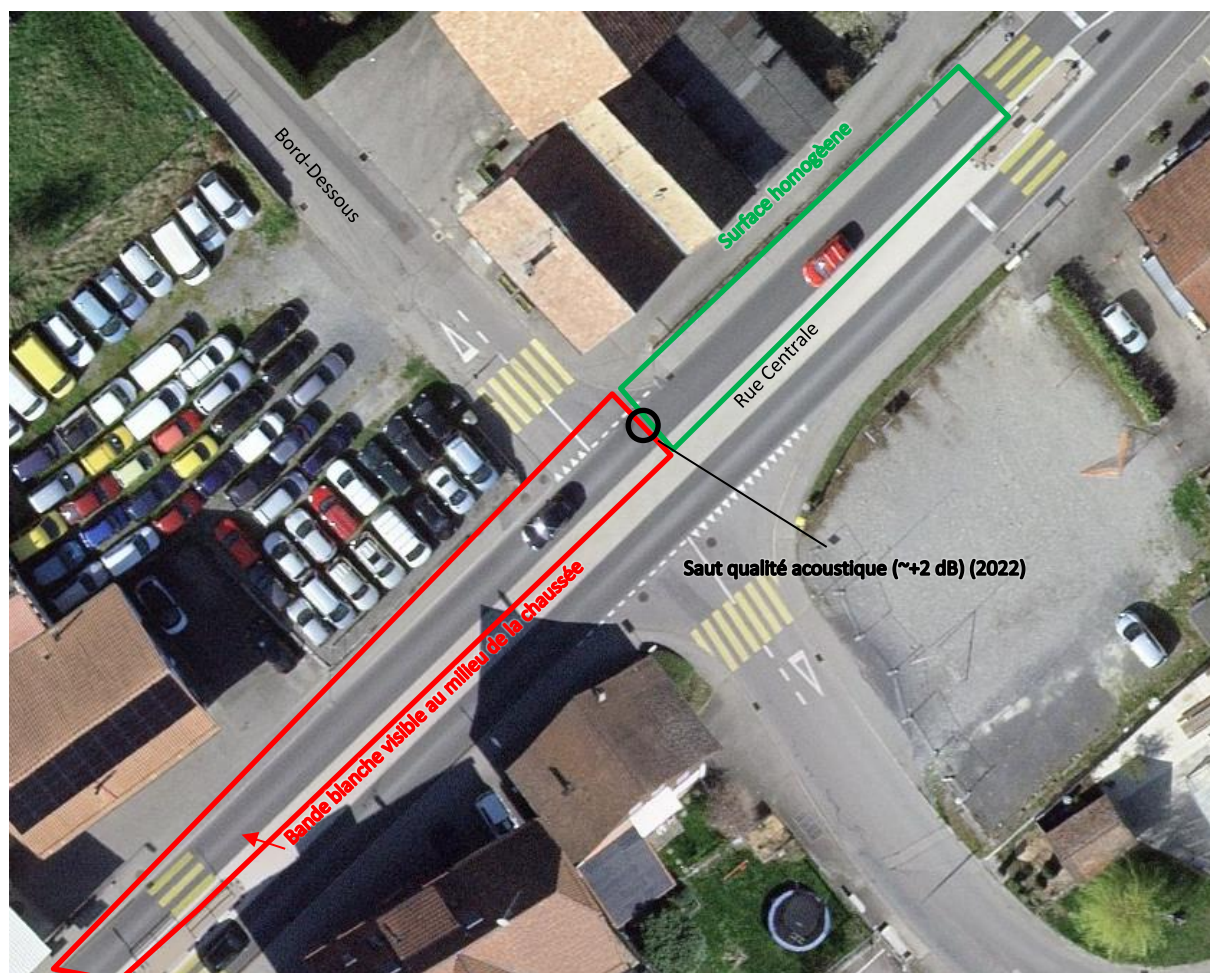


Figure 16 : Vue aérienne de Dompierre, FR (Situation route Bord Dessous) (Link). Source de l'image : www.map.geo.admin.ch

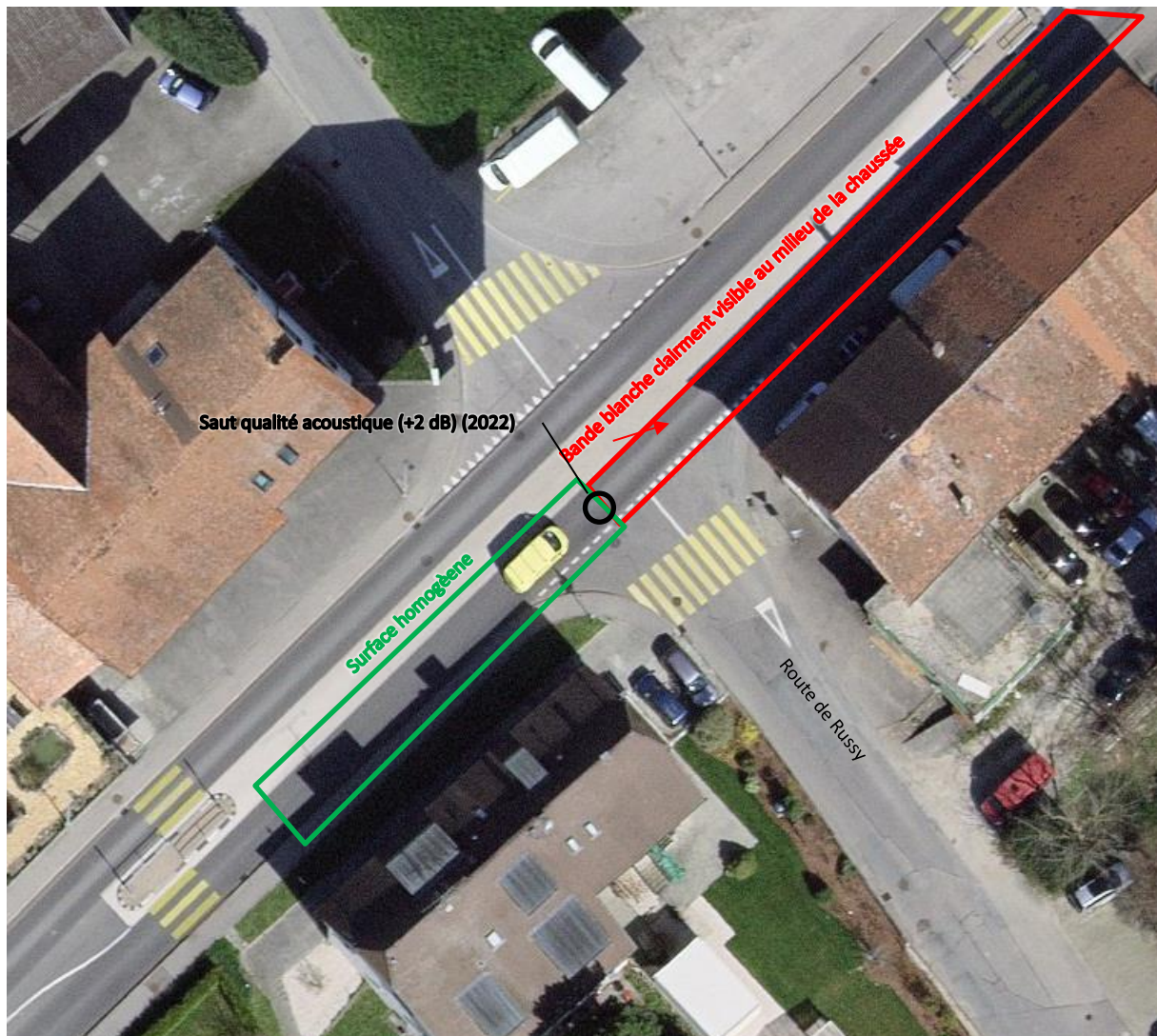


Figure 17 : Vue aérienne de Dompierre, FR (Situation Route de Russey) (Link). Source : www.map.geo.admin.ch

Interprétation :

- Le vieillissement acoustique n'est pas le même sur tout le tronçon, et est dominé par des phénomènes locaux. Certains phénomènes potentiels ont été observés lors de la visite *in situ* (chapitre 3.1).
- L'apport local de saleté pourrait obstruer les pores et, par conséquent, détériorer la qualité acoustique du revêtement.
- Il est frappant de constater que la zone avec le marquage central blanc (Séparation des voies de circulation) se caractérise par une qualité acoustique du revêtement nettement moins bonne. (Apport de saleté par l'érosion de la peinture de marquage ?) Cela pourrait aussi correspondre à une zone d'apport de saleté en lien avec les intersections.

- A Dompierre, la détérioration de la qualité acoustique du revêtement se produit principalement aux intersections. Comme observé lors de la visite *in situ*, de la saleté semble être amenée par des véhicules empruntant ces routes perpendiculaires.
- En direction du sud, le changement de régime de vitesse semble s'accompagner d'une amélioration de la qualité du revêtement. Aucun effet de ce type n'apparaît dans la direction du nord. Il se pourrait toutefois que cet effet soit masqué par le début du revêtement qui est à chaque fois plus mauvais.

3.2.6 Murten, Salvenach

L'évolution de la qualité acoustique du revêtement à Salvenach est présentée dans la Figure 18 ci-dessous. Il s'avère, du moins dans le sens de la circulation vers le nord, que le début du revêtement présente des niveaux de vieillissement proportionnellement plus mauvais que le reste du revêtement. De plus, lors de la visite *in situ*, on a remarqué un chantier qui effectuait des travaux de terrassement juste au début du revêtement de la direction sud (Figure 19). En conséquence, il y avait aussi une augmentation de la saleté sur le revêtement à cet endroit (marquée en rouge dans la Figure 18).

En ce qui concerne l'influence du chantier sur l'acoustique du revêtement, on peut certainement constater des niveaux légèrement plus élevés dans le sens de la circulation vers le nord. Cependant, cela se superpose à la tendance générale selon laquelle les débuts de revêtement sont moins bons.

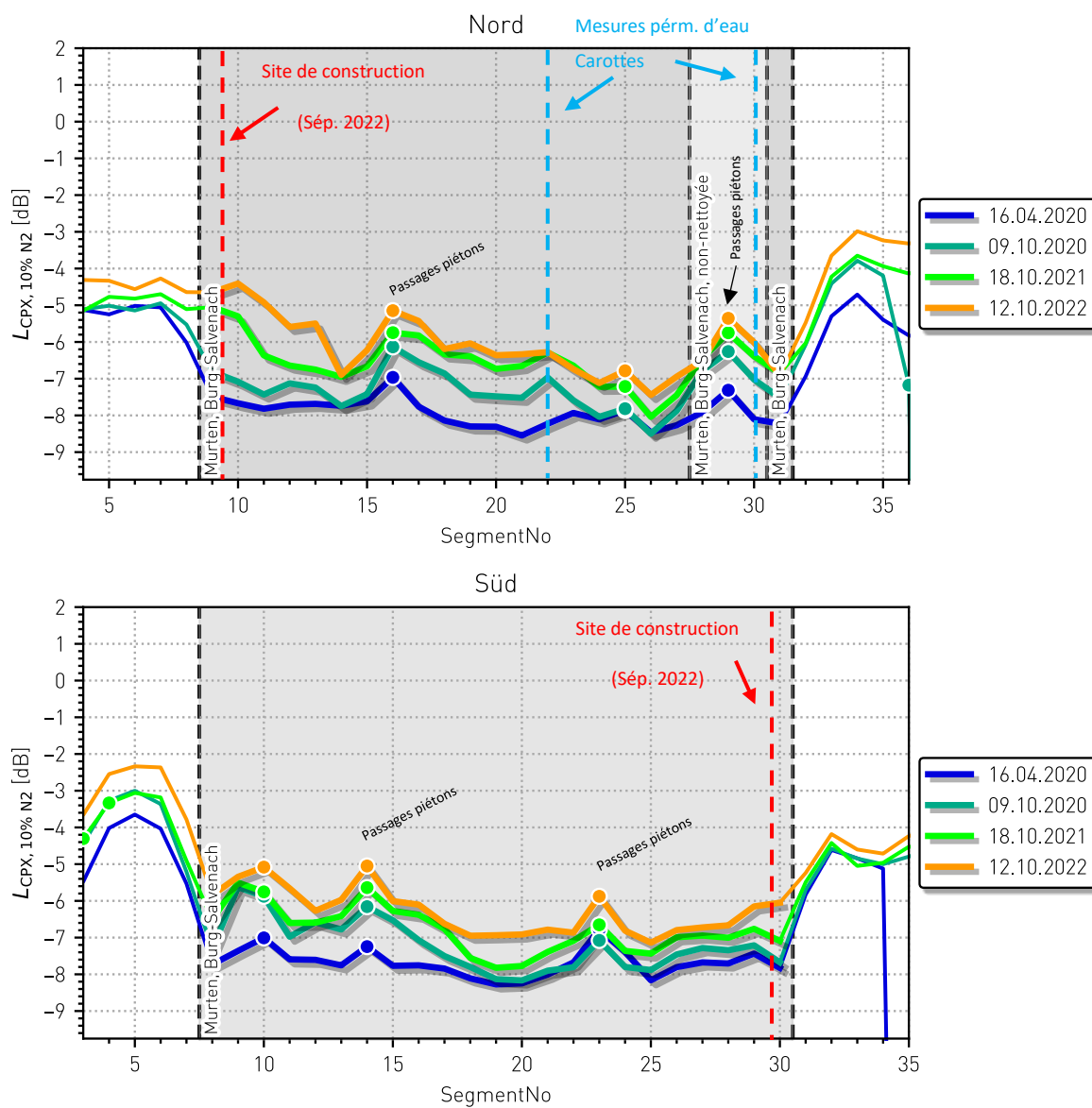


Figure 18 : L'évolution de la qualité acoustique du revêtement à Salvenach (Murten)



Figure 19 : Vue aérienne de Salvenach, FR (Situation début revêtement) (Link). Source : www.map.geo.admin.ch

3.3 Analyses perméabilité d'eau

La Figure 20 montre la série de mesures de la perméabilité à l'eau sur les sites du projet entre 2019 et 2022 (Les points de mesure exacts se trouvent en annexe VII.). Lors des mesures de perméabilité, le temps est chronométré jusqu'à ce qu'une quantité d'eau définie se soit infiltrée. Si un revêtement présente de nombreux pores accessibles, l'eau disparaît rapidement et un temps court est donc chronométré en conséquence. Si les pores sont plutôt difficilement accessibles, l'expérience est interrompue après 70s (maximum). Par conséquent, des valeurs de mesure élevées représentent plutôt des pores moins accessibles. Les mesures sont pour la plupart cohérentes avec les observations faites à partir des mesures CPX.

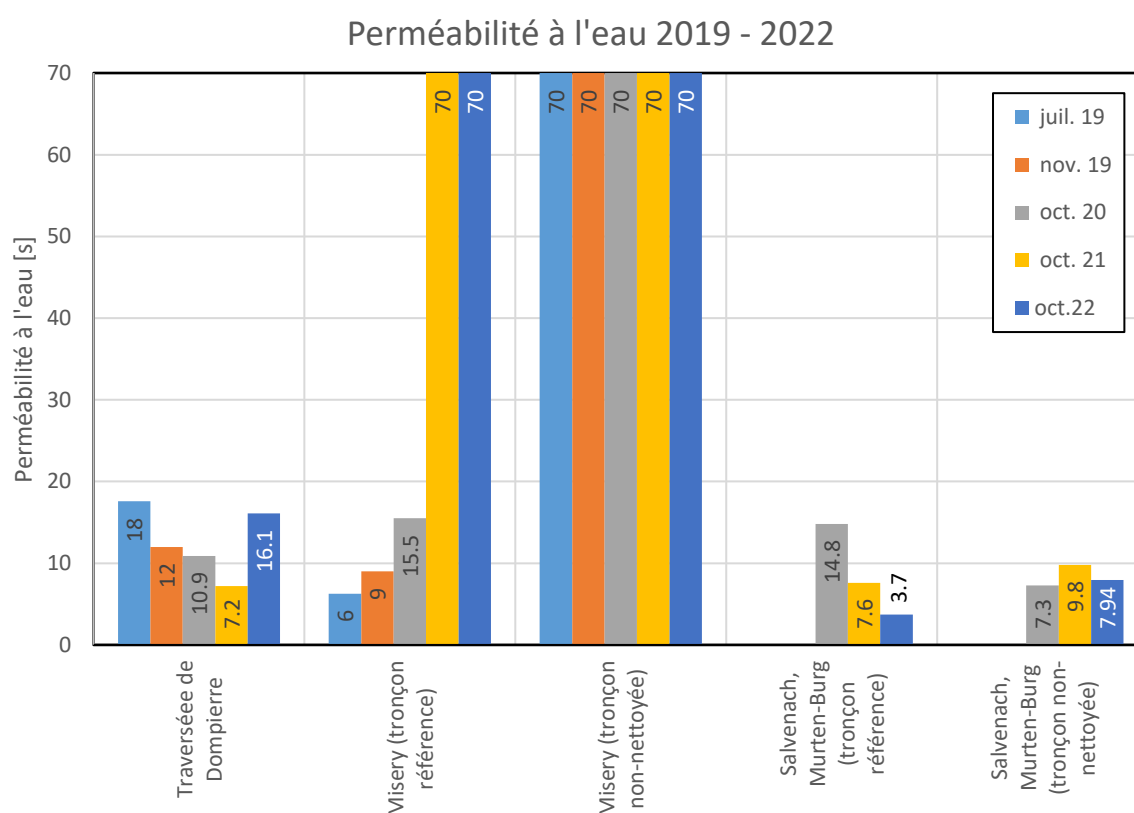


Figure 20 : Perméabilité à l'eau sur les sites.

Les mesures montrent généralement les tendances qui s'étaient déjà dessinées l'année dernière : De nombreux revêtements présentent une faible perméabilité à l'eau.

A **Misery** une grande résistance a été mesurée pour la deuxième fois sur la section de référence. Cela concorde avec les observations faites lors des mesures CPX, car la qualité acoustique du revêtement a tendance à être légèrement moins bonne sur cette partie du tronçon de référence que sur le reste du tronçon de référence. (Cf. chapitre 3.2.4 et Figure 12).

Les mesures actuelles effectuées sur le Sapaphone4 posé en 2016 à **Dompierre** montrent une perméabilité élevée qui se traduit par un écoulement rapide de l'eau. Cela est certainement aussi lié au lieu de la mesure. En effet, sur le lieu de la mesure, la qualité acoustique du revêtement est encore très bonne.

Le Famsiphonogrip posé en 2019 à **Salvenach, Murten** montre également une grande perméabilité. Aucune différence n'a été constatée, que ce soit sur la section nettoyée ou sur la section non nettoyée. La grande perméabilité sur ces tronçons se reflète dans la qualité acoustique élevée.

3.4 Analyses Texture (photogrammétries)

Cette année, le relevé de la photogrammétrie a été effectué avec un nouveau système. La résolution a encore été augmentée. Les résultats actuels sont comparés aux résultats de mesure des années précédentes.

3.4.1 Salvenach

Les illustrations suivantes montrent les modèles 3D enregistrés des sections de mesure (trace de roue à Salvenach). Comme le montrent les photos, certains éclatements de grains sont visibles sur les deux tronçons.

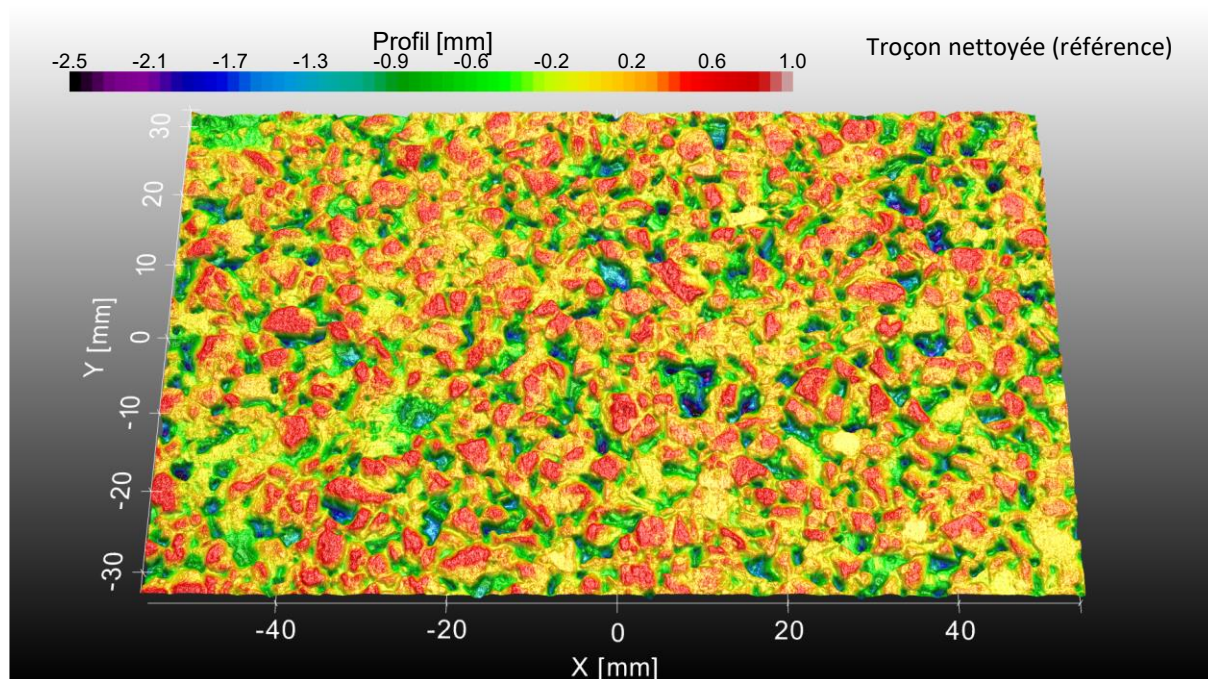


Figure 21 : Modèle 3d du revêtement pour Salvenach, mesuré dans la voie des roues, tronçon nettoyé (référence)

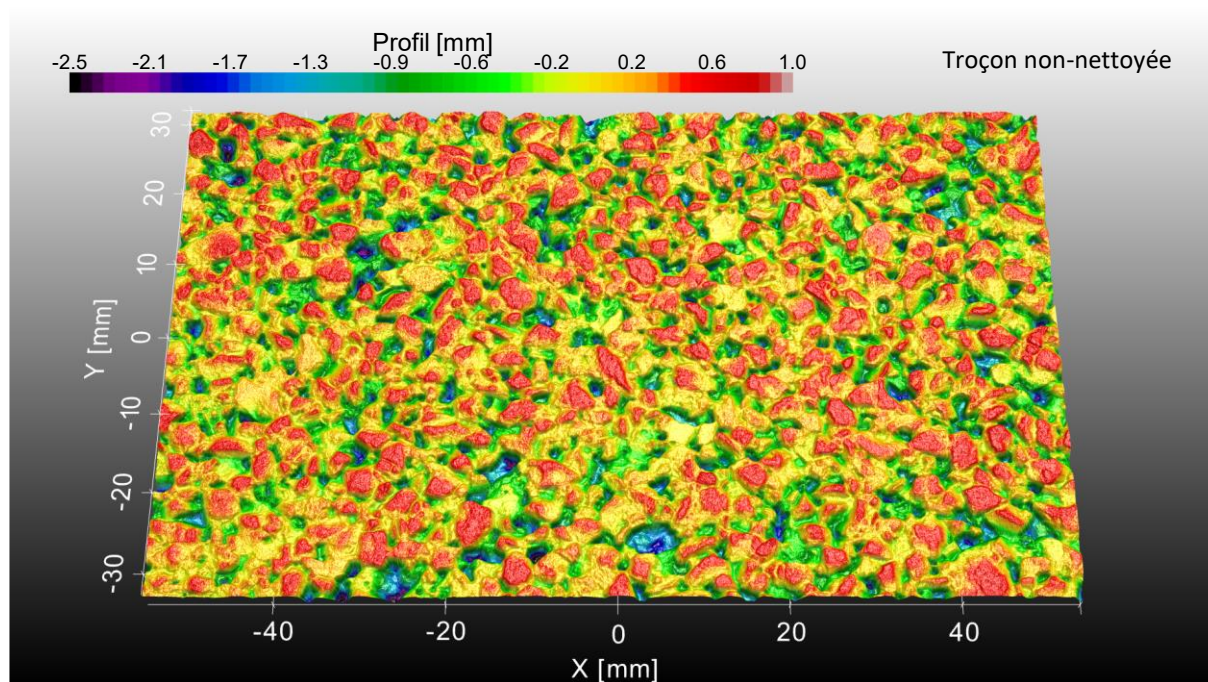


Figure 22 : Modèle 3d du revêtement pour Salvenach, mesuré dans la voie des roues, tronçon non-nettoyé

3.4.2 Misery

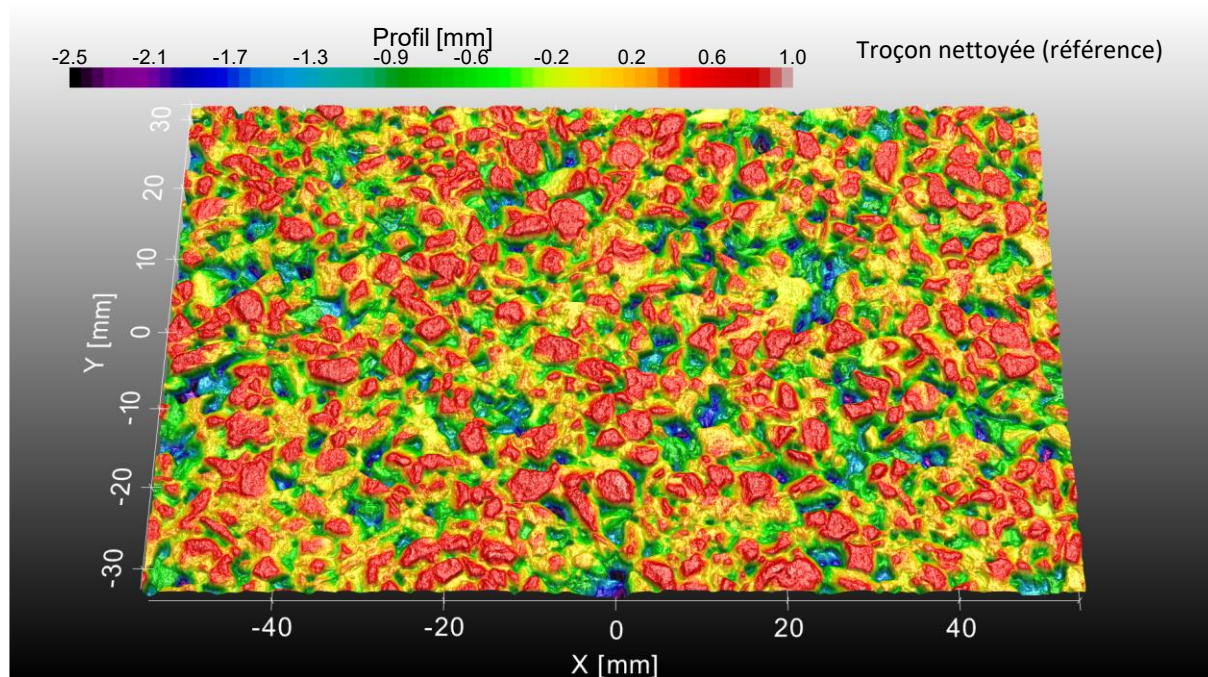


Figure 23 : Modèle 3d du revêtement pour Misery, mesuré dans la voie des roues, tronçon nettoyé (référence)

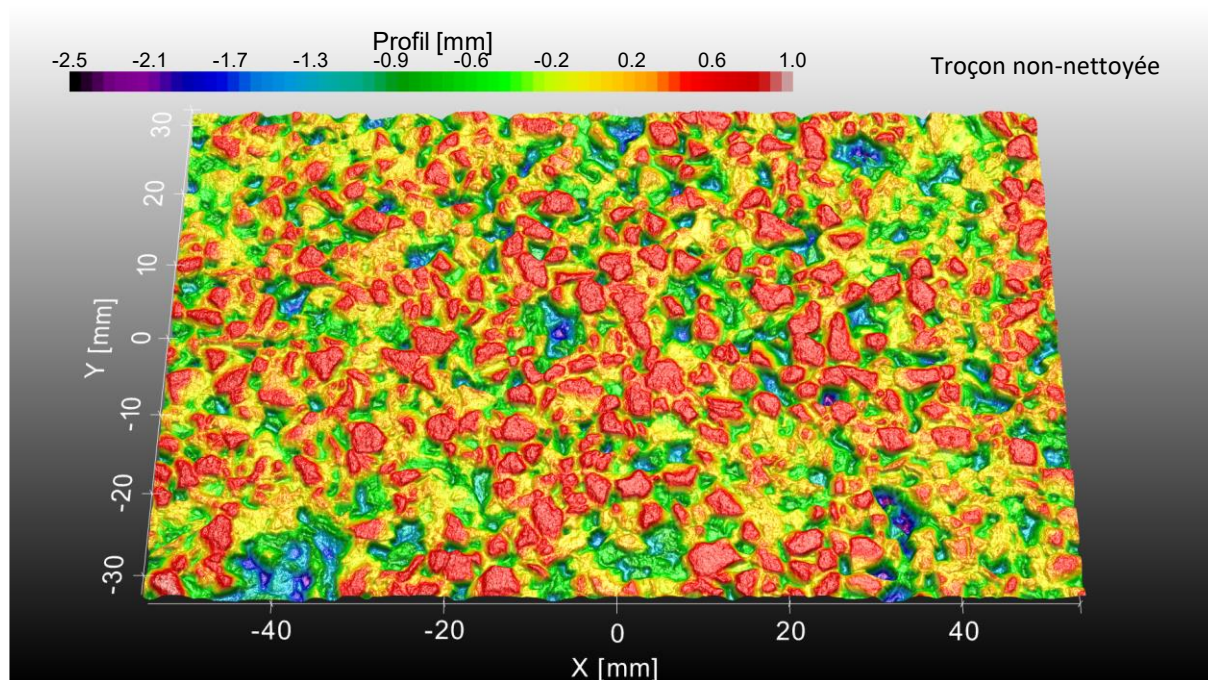


Figure 24 : Modèle 3d du revêtement pour Misery, mesuré dans la voie des roues, tronçon non-nettoyée.

3.4.3 Profondeur moyenne du profil (MPD)

La Figure 25 et Figure 26 montre l'évolution de la profondeur moyenne du profil (MPD) pour les mesures effectuées entre 2020 et 2022. La Figure 25 illustre l'évolution pour la trace des roues, et la et Figure 26 l'évolution entre les traces de roues.

Le paramètre MPD est un paramètre de profondeur moyenne de profil.

Dans les deux localités (Salvenach et Misery), on constate que la profondeur moyenne des sculptures a augmentée au fil des ans. Cela se manifeste aussi bien dans le centre de chaussée que dans la partie entre les roues (Figure 26).

On constate en outre que la section nettoyée se comporte plutôt mieux que la section non nettoyée pour ce paramètre. Pour le tronçon test de Misery en particulier, la MPD mesurée en 2022 sur le tronçon non nettoyé sera pour la première fois légèrement supérieure à celle mesurée sur le tronçon nettoyé. Des résultats comparables ont également été obtenus à Salvenach (MPD plus élevé sur le tronçon non nettoyé). Cependant, les différences entre les sections nettoyées et non nettoyées sont encore relativement faibles et ne peuvent donc pas être considérées comme significatives.

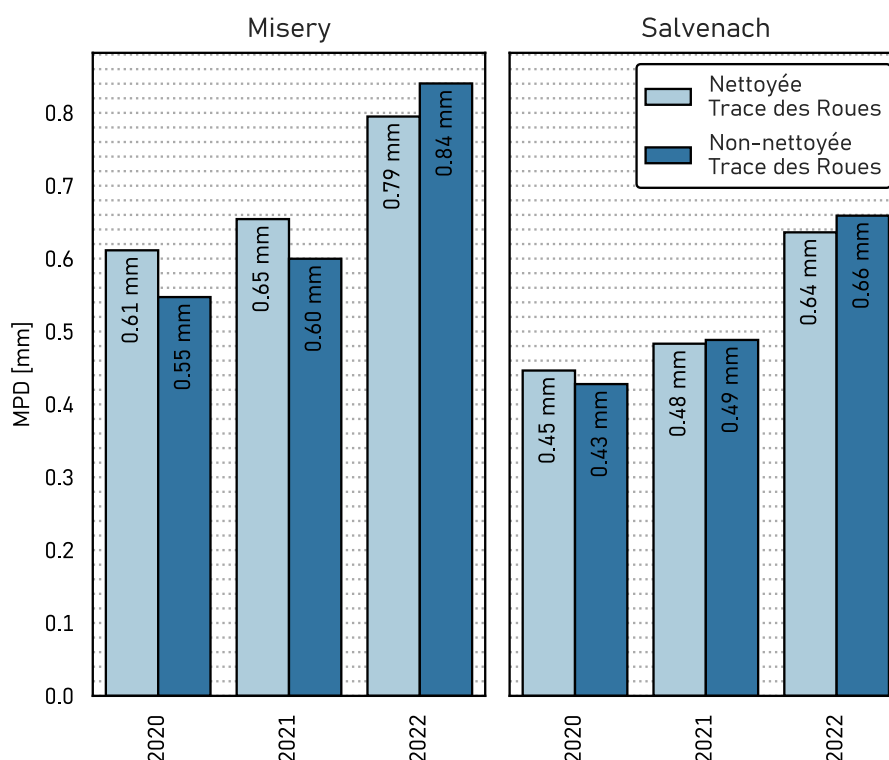


Figure 25 : Comparaison des profondeurs moyennes du profil pour Misery et Salvenach, respectivement pour la section nettoyée et la section non-nettoyée, trace de roue.

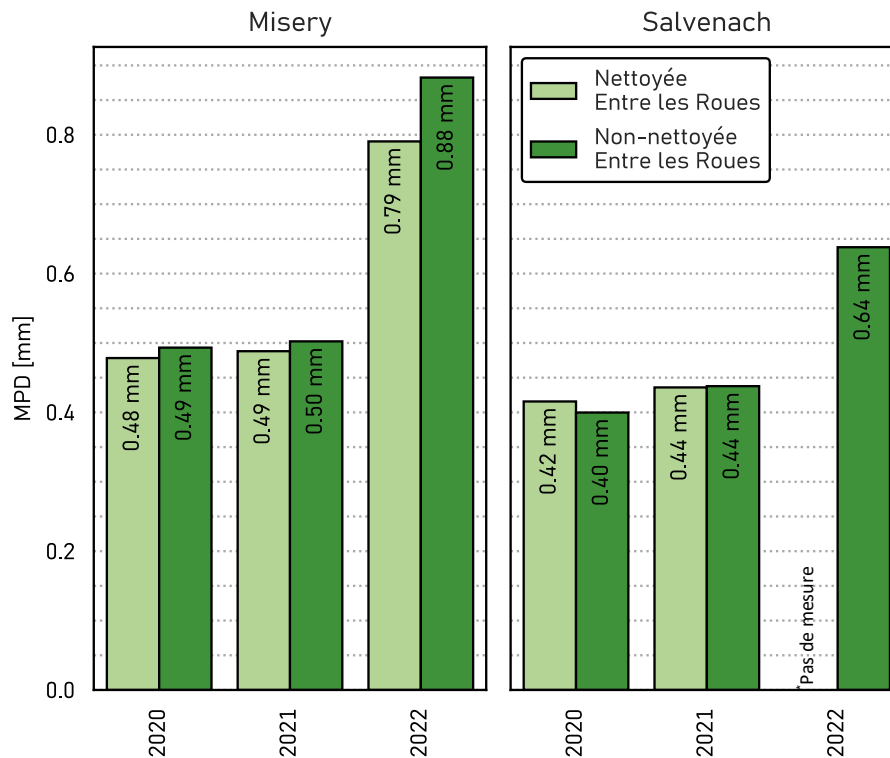


Figure 26 : Comparaison des profondeurs moyennes du profil pour Misery et Salvenach, respectivement pour la section nettoyée et la section non-nettoyée, entre les traces de roue. En 2022, aucune mesure n'a pu être effectuée à Salvenach entre les voies des roues.

3.4.4 Profondeur de rugosité effective (Amax)

Le paramètre de profondeur de rugosité effective maximale est calculé à l'aide de la transformée de Fourier du profil de texture. Plus la valeur de la profondeur maximale de rugosité est élevée, plus la texture est grossière.

A Salvenach, comme à Misery, la tendance à l'augmentation de la rugosité s'est poursuivie. Cela coïncide avec les conclusions du chapitre précédent avec les mesures MPD. En outre, il apparaît, tant à Salvenach qu'à Misery, que les deux sections (nettoyées vs. non nettoyées) ne se distinguent pas très distinctement.

Il est toutefois frappant de constater que les rugosités les plus élevées se trouvent sur le tronçon non nettoyé, aussi bien à Salvenach qu'à Misery. Ceci est intéressant, car si le nettoyage détruisait le revêtement, cela se traduirait par une rugosité accrue sur la section nettoyée. De même, on peut s'attendre à une rugosité plus importante sur la section non nettoyée en raison d'un salissement excessif (remplissage des pores). Or, ni l'un ni l'autre n'ont été observés. On peut donc supposer qu'il s'agit plutôt d'un phénomène local.

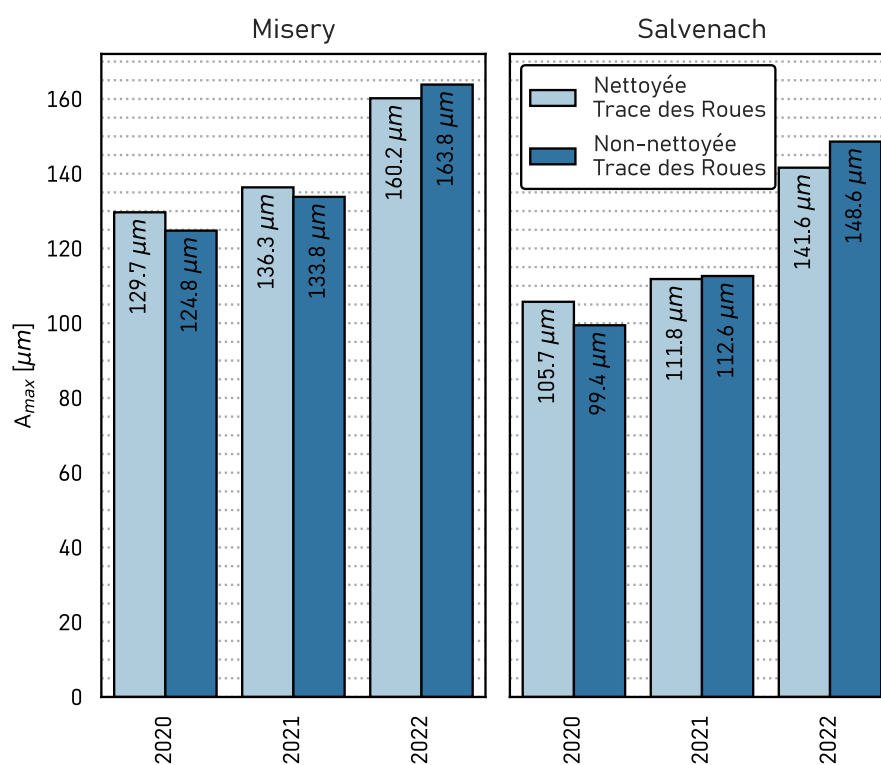


Figure 27 : Comparaison des profondeurs de rugosité effective (A_{max}) pour Misery et Salvenach, respectivement pour la section nettoyée et la section non-nettoyée, trace de roue

3.5 Analyse de la texture à la tâche de sable

L'exploitation de la profondeur moyenne de texture (PMT) déterminé par l'essai à la tâche de sable réalisé par Infralab sont présentés ci-après pour la campagne 2022 et comparés aux valeurs obtenues lors des précédentes campagnes.

La comparaison des valeurs de PMT moyenne de chaque tronçon selon chaque campagne (Figure 28) démontre une très grande stabilité des résultats de PMT dont les variations sont inférieures aux seuils de répétabilité de l'essai à la tâche de sable. De même, les différences entre les sections nettoyées et non-nettoyées d'un même secteur sont relativement faibles. Sur la base de ces résultats, on constate que les nettoyages ne provoquent pas un endommagement de la texture qui pourrait nuire aux performances phoniques.

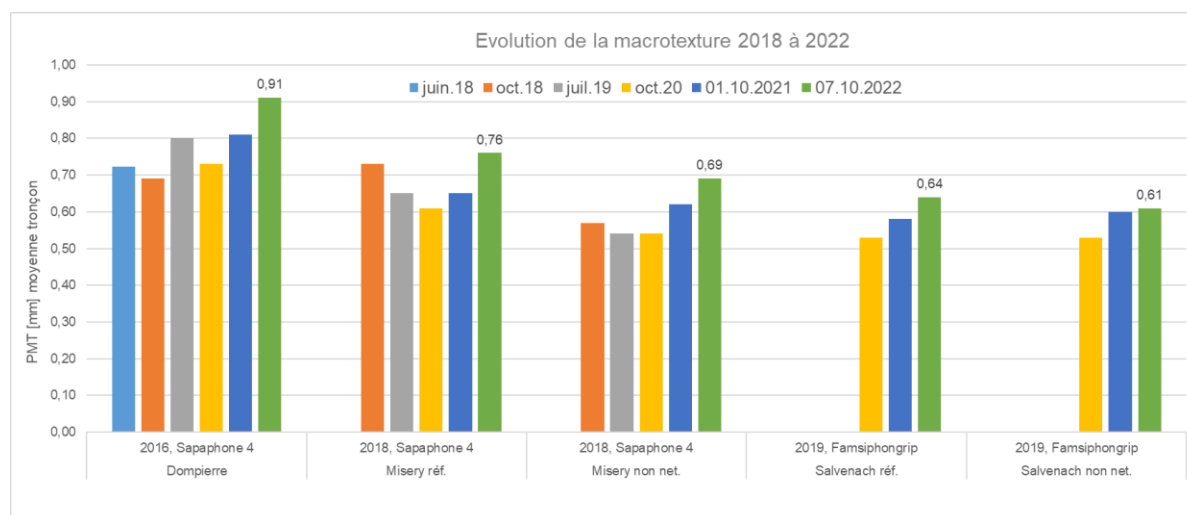


Figure 28 : Synthèse des mesures de texture à la tâche de sable - valeur de PMT moyenne de chaque tronçon, en distinguant à Misery et Salvenach les tronçons nettoyés (réf.) et non-nettoyés

Les moyennes sur 10 mesures pour le sens positif et pour le sens négatif de l'axe sont significativement (Misery) voire exactement (Dompierre, Salvenach) les mêmes pour les trois sections (voir Tableau 6), signifiant que la macrotexture de la surface de la chaussée est uniforme, il n'y a pas de différence perçue entre les sens.

Tableau 6 : Moyenne macrotexture à la tâche de sable par tronçon par sens

PMT moyenne	Dompierre	Misery	Salvenach
Moyenne sens +	0.91	0.77	0.64
Moyenne sens -	0.91	0.74	0.64

Les courbes PMT suivent la même tendance que l'année précédente, avec une augmentation quasi-linéaire pour Dompierre et Salvenach, et une augmentation plus rapide pour Misery. Les valeurs PMT ont généralement plus augmenté cette année que ce ne fut le cas par le passé (entre 2019 et 2020, il y avait eu une diminution à Dompierre).

L'analyse des valeurs détaillées montre pour le tronçon Salvenach une plus faible dispersion des valeurs PMT que sur les autres tronçons. La faible valeur de l'écart-type (Tableau 7) indique que ce tronçon est plus homogène que les autres. Le jeune âge du tronçon peut être un facteur explicatif. La faible ouverture de la texture

observée sur le tronçon de Salvenach (voir 3.1) est également visible au niveau de la moyenne globale, plus faible que pour les deux autres tronçons.

En outre, sur le revêtement plus âgé de **Dompierre**, on observe une nouvelle fois des différences de valeur moyenne de PMT dans le BDR et au centre de la voie (Tableau 7), ce qui pourrait plutôt indiquer une dégradation de la texture de l'enrobé à cause des efforts mécaniques résultants des charges de trafic, et non pas du nettoyage, ce dernier étant appliqué uniformément sur la surface de la chaussée.

Ces résultats confirment donc les observations des précédentes campagnes comme quoi le nettoyage n'endommage pas la texture des revêtements phono-absorbants.

À la Figure 29, les données de 2022 montrent une augmentation légère des valeurs de PMT, lorsque le revêtement vieillit. Il semble qu'il y ait une légère accélération de l'augmentation de la valeur de PMT cette année (Misery, Salvenach) par rapport aux variations des années précédentes, la texture des revêtements s'est ouverte un peu plus rapidement sur ces tronçons.

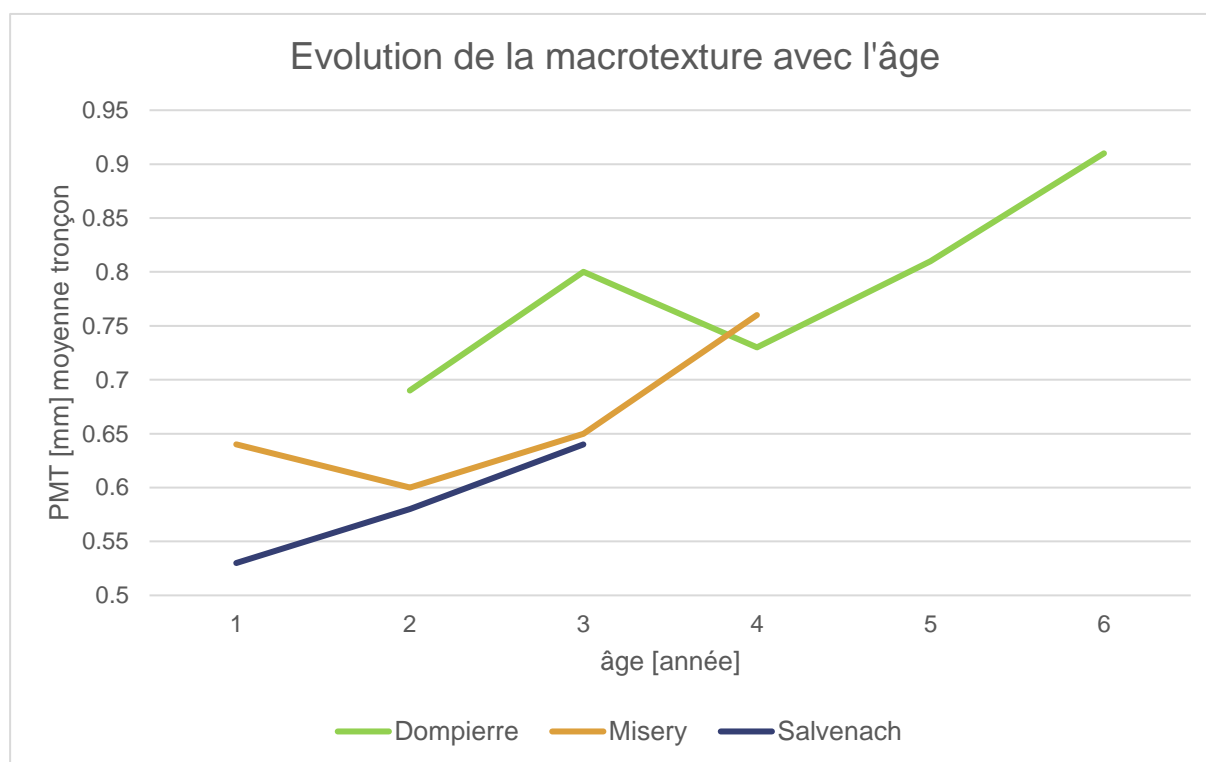


Figure 29 : Evolution de la valeur moyenne de PMT de chaque tronçon en fonction de l'âge du revêtement

Tableau 7 : Synthèse des mesures de texture à la tache de sable – détail de valeur moyenne de chaque tronçon, de l'écart-type et du coefficient de variation (COV), ainsi que valeur moyenne dans les bandes de roulement (BDR) et au centre de la voie, pour chaque campagne et évolution entre la première et la dernière campagne disponible.

PMT [mm]		Dompierre 2016, Sapaphone 4	Misery 2018, Sapaphone 4	Salvenach 2019, Famsiphongrip
juin.18	Moyenne globale	0,72	-	-
	écart-type global	0,07	-	-
	Cov	10%	-	-
	Moyenne BDR	0,75	-	-
	Moyenne centre	0,64	-	-
oct.18	Moyenne globale	0,69	0,71	-
	écart-type global	0,06	0,07	-
	Cov	9%	10%	-
	Moyenne BDR	0,71	0,71	-
	Moyenne centre	0,62	0,71	-
juil.19	Moyenne globale	0,80	0,64	-
	écart-type global	0,10	0,08	-
	Cov	12%	12%	-
	Moyenne BDR	0,82	0,65	-
	Moyenne centre	0,71	0,60	-
oct.20	Moyenne globale	0,73	0,60	0,53
	écart-type global	0,10	0,07	0,03
	Cov	14%	12%	6%
	Moyenne BDR	0,76	0,62	0,53
	Moyenne centre	0,61	0,55	0,54
oct.21	Moyenne globale	0,81	0,65	0,58
	écart-type global	0,13	0,08	0,06
	Cov	16%	13%	9%
	Moyenne BDR	0,85	0,67	0,58
	Moyenne centre	0,63	0,57	0,61
oct.22	Moyenne globale	0,91	0,76	0,64
	écart-type global	0,16	0,10	0,03
	Cov	18%	13%	5%
	Moyenne BDR	0,98	0,78	0,64
	Moyenne centre	0,66	0,68	0,64
évolution		06.2018 à 10.2022	10.2018 à 10.2022	10.2020 à 10.2022
	Différence globale	0,19	0,05	0,11
	Différence BDR	0,23	0,07	0,11
	Différence centre	0,02	-0,03	0,10
Différence annuelle		0,043	0,012	0,054

3.6 Analyses des carottes (AVCA)

Au total, quatre carottes ont été examinées : Deux sur chaque tronçon de Misery et de Salvenach. L'emplacement des carottages est indiqué dans l'annexe VI. La méthode AVCA de G+P est utilisée pour analyser la structure des cavités et de l'apport de saleté des carottes sur la base du tomodensitogramme.

Les figures suivantes montrent à gauche les données brutes des examens de tomodensitométrie. Au milieu, les composants de la carotte classés selon la méthode AVCA, sont indiqués. Le profil des différents composants est indiqué sur le côté droit. Sur la figure, le degré de contamination est indiqué en brun. Le pourcentage de pores reliés à la surface est indiqué en vert. Le bleu illustre le volume des pores qui n'a aucun lien avec la surface. En gris, le contenu total théorique du vide est indiqué.

3.6.1 Salvenach, référence vs. non-nettoyée

Les figures suivantes montrent un exemple d'analyse des pores dans la voie de la roue sur la section nettoyée (Tableau 8) et non-nettoyée (Tableau 9) à Salvenach. Trois ans après sa pose, le revêtement Famsiphonogrip à Salvenach présente une accessibilité très intacte des pores selon ces carottes. Cela se voit à la grande surface des pores interconnectés en vert.

Sur le tronçon de référence de Salvenach, le niveau de pollution a légèrement augmenté par rapport à l'année 2021. La proportion de pores interconnectés (courbe verte) a surtout diminué dans les couches moyennes et profondes (voir Tableau 8). Il est notable qu'une bande de pollution s'est accumulée dans la partie centrale. Il pourrait bien sûr s'agir d'un phénomène local, mais il faut continuer à le suivre.

Comme on peut le voir dans le Tableau 9, le niveau de pollution a augmenté sur la section non-nettoyée par rapport à l'année 2021. Si l'on observe le profil de la pollution sur la profondeur, il semble que le revêtement se remplisse par le bas. Alors que la pollution maximale était à peu près de 30% en 2021, elle est plutôt de 40% cette année. Comparé au tronçon de référence, le niveau de pollution est surtout plus élevé dans les couches profondes.

Ces observations se reflètent dans les mesures CPX actuelles. Pour trafic mixte avec 10% de Nt_2 on ne voit pas de différence d'un point de vue acoustique entre les deux sections (Voir chapitre 3).

Tableau 8 : Analyse AVCA de la carotte Id 2127 (Analyse 2022), Id 1736-1 (Analyse 2021) et la carotte BK 1 (Analyse 2020), Salvenach nettoyée (référence, trace des roues)

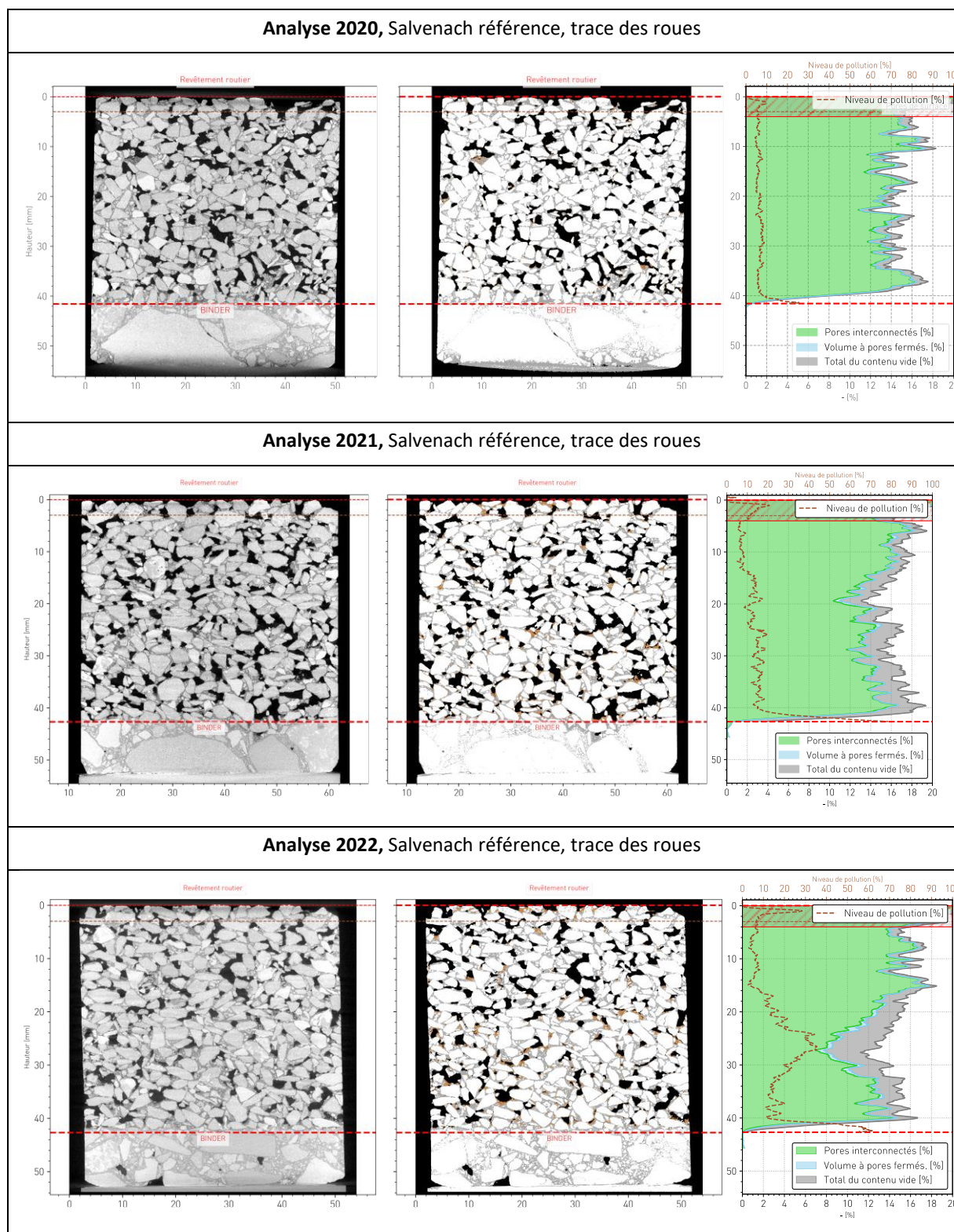
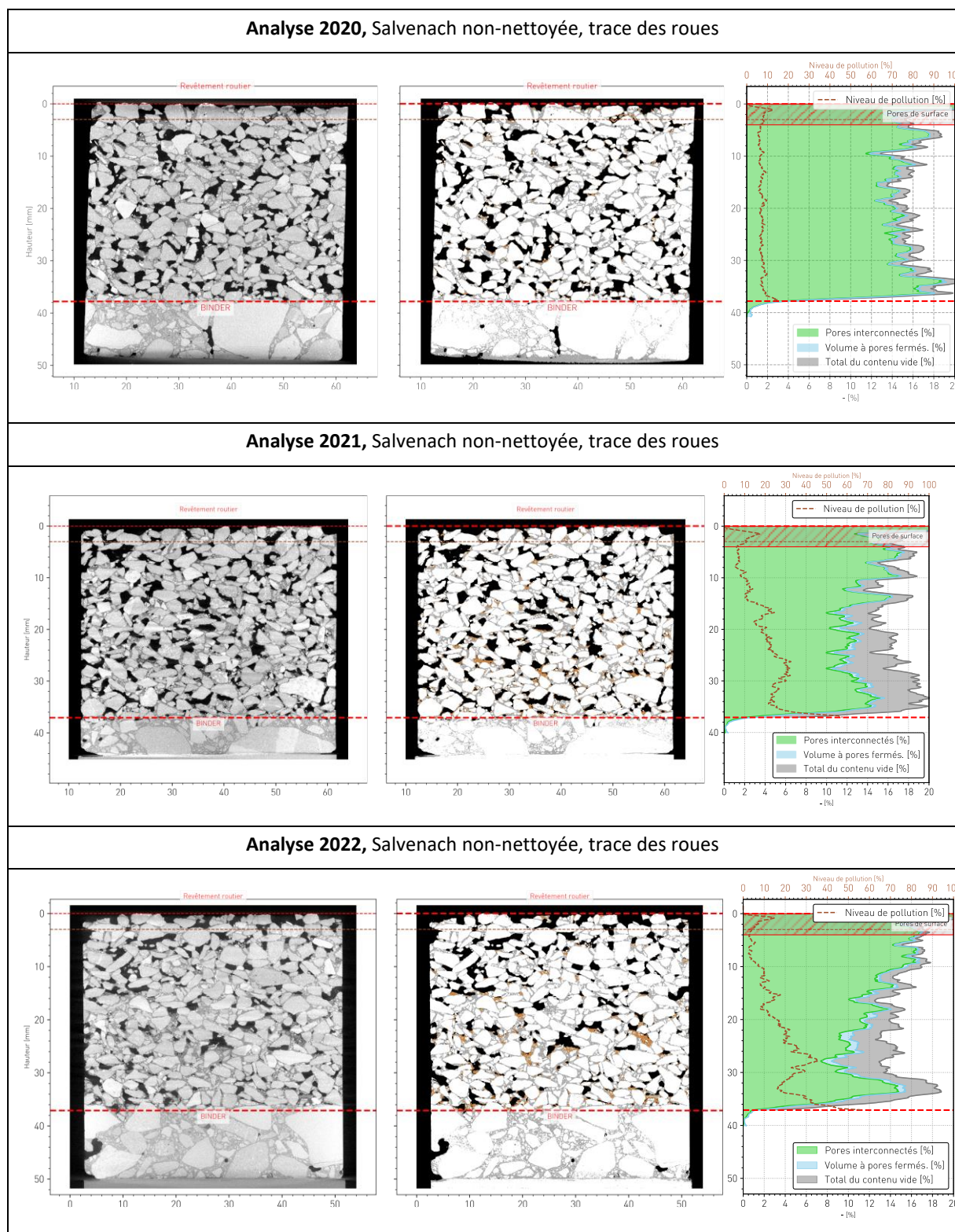


Tableau 9 : Analyse AVCA de la carotte Id 2128 (2022), Id 1736-2 (Analyse 2021) et la carotte BK 3 (Analyse 2020), Salvenach non-nettoyée (voie des roues)



3.6.2 Misery, référence vs. Non-nettoyée

A Misery, les carottes ont été prélevées en direction du sud. Ce sens de circulation présente, comme on a déjà montré, des qualités acoustiques légèrement moins bonnes que le sens de circulation nord (Chapitre 3.2.4). De même, la carotte de la section de référence de Misery se trouve dans une zone où la perte de qualité acoustique du revêtement augmente relativement fortement. En conséquence, on a déjà constaté en 2021 que la cohésion des pores avait diminué. Comme on pouvait s'y attendre, cette tendance s'est poursuivie en 2022 (Tableau 10). Il s'est révélé que la partie supérieure du revêtement s'obstruait aussi de plus en plus. Il en résulte que le revêtement ne présente plus les mêmes propriétés d'aération et que, par conséquent, la qualité acoustique du revêtement diminue. Le nettoyage sur ce tronçon n'a permis de contrer ce phénomène que de manière limitée en 2022.

En ce qui concerne le tronçon non-nettoyé (Tableau 11), on constate à nouveau qu'il n'y a pas eu de modification de l'accessibilité des pores.

Tableau 10 : Analyse AVCA de la carotte Id 2134 (2022), Id 1737-2 (Analyse 2021) et la carotte BK 9 (Analyse 2020), Misery nettoyée (référence, trace des roues)

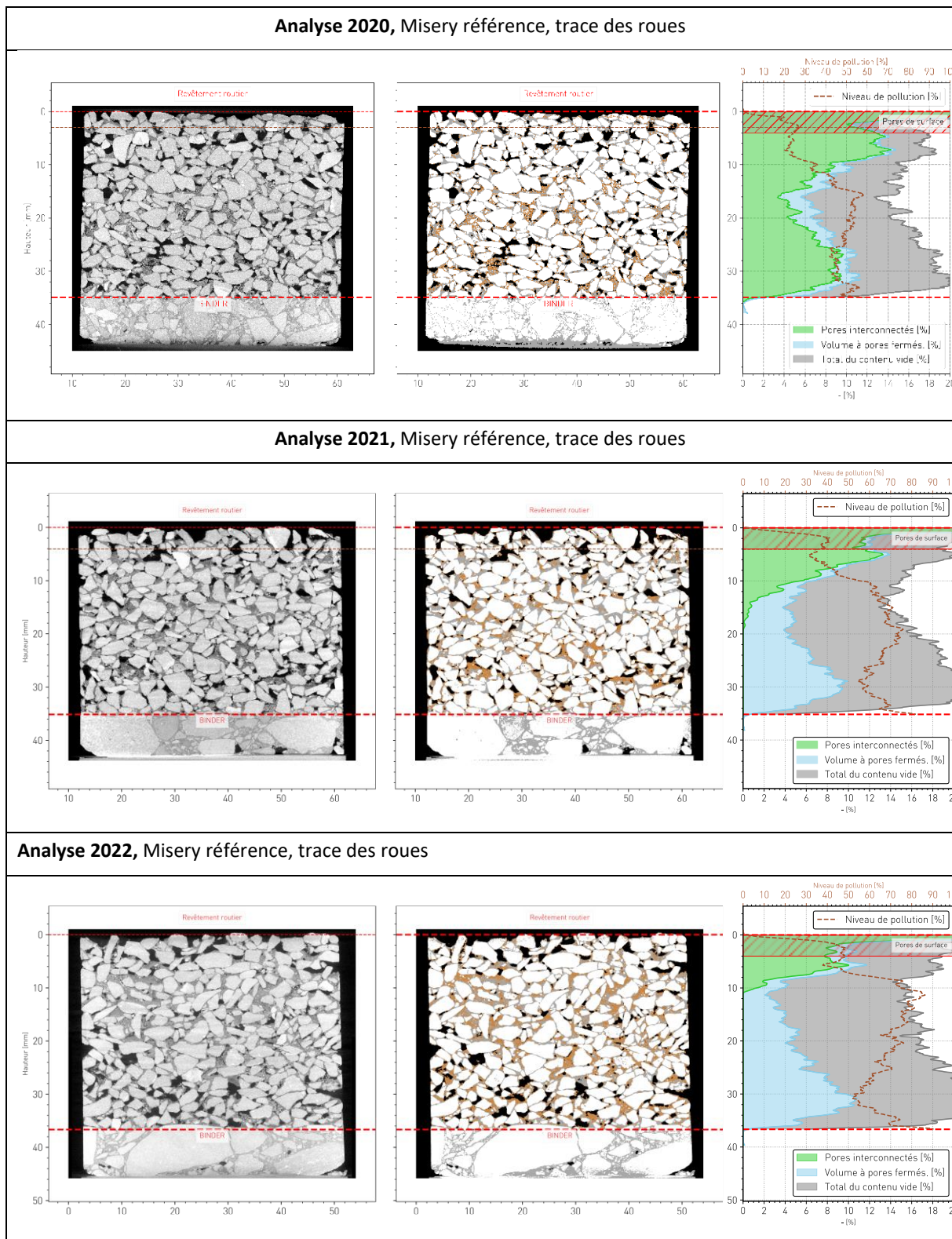
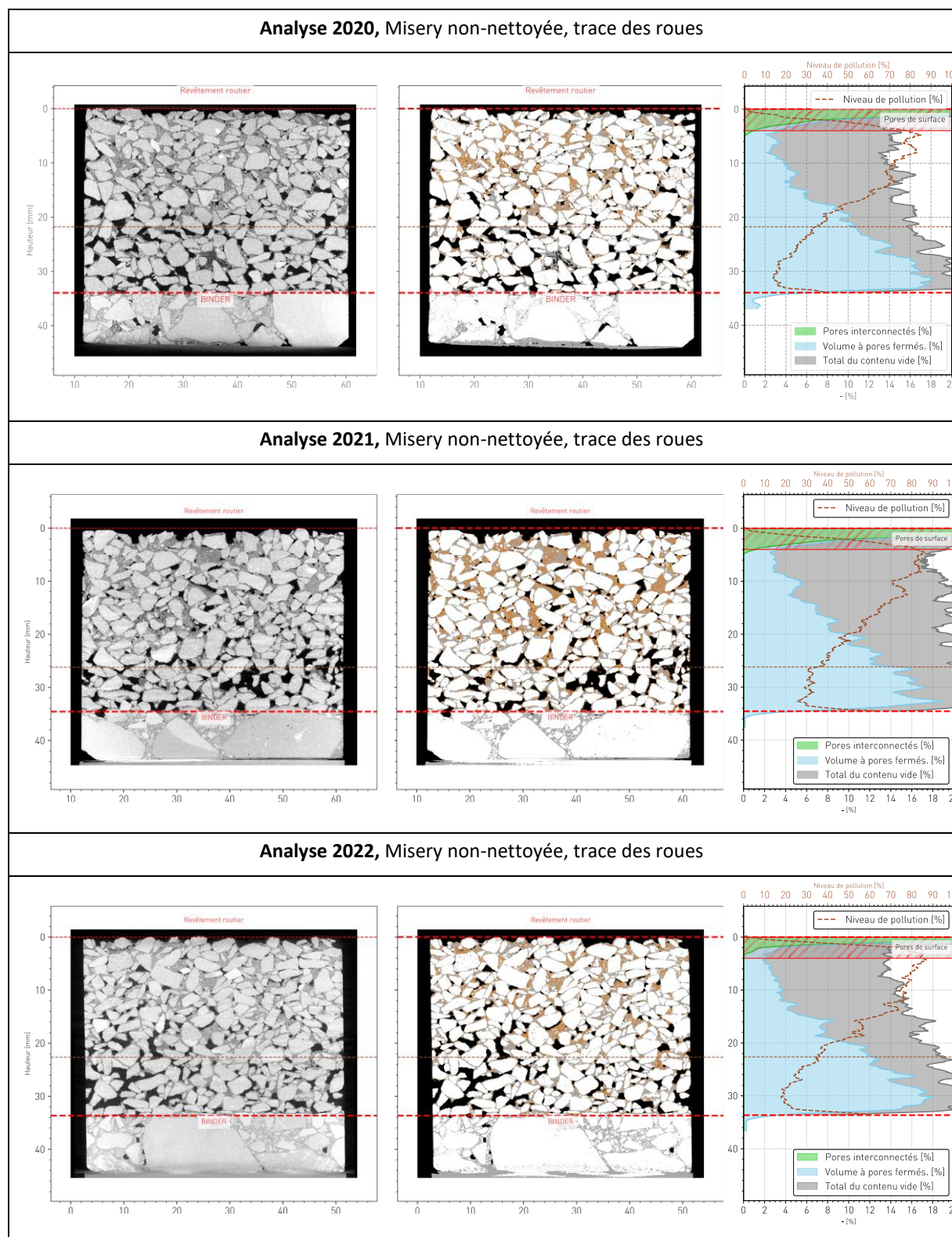


Tableau 11 : Analyse AVCA de la carotte Id 2129 (2022), Id 1737-1 (Analyse 2021) et la carotte BK 7 (Analyse 2020), Misery non-nettoyée (trace des roues)



4 Conclusions

4.1 Synthèse de l'étude

En ce qui concerne l'effet de nettoyage, la section de Misery continue de montrer une amélioration de la qualité acoustique du revêtement grâce aux campagnes de nettoyage. L'accessibilité des pores s'est toutefois légèrement détériorée, même sur la section nettoyée à Misery. Il s'est avéré que cette année, les niveaux les plus profonds de la couche de revêtement phono-absorbant n'ont plus de pores communicants avec la surface. Cela s'est également traduit par une légère baisse des valeurs CPX.

Inversement, l'expérience de Misery n'a pas pu être confirmée avec l'autre tronçon test de Salvenach : Après 3 ans, il n'y a pas de différence d'un point de vue acoustique entre le tronçon nettoyé et le tronçon non nettoyé (les deux présentent une valeur de qualité de revêtement de -6,3 dB après 3 ans). Au même moment, il y avait déjà un impact important à Misery. Par conséquent, il devrait s'agir principalement d'un effet local à Misery.

De manière générale, les analyses ont montré que le vieillissement acoustique des revêtements peut varier fortement d'un endroit à l'autre. Ainsi, sur les tronçons de Misery et de Dompierre, on a pu constater localement de grandes différences de qualité acoustique au sein d'un même revêtement. Ces différences se sont manifestées malgré le nettoyage périodique. Cela signifie que sur certains tronçons, le nettoyage n'est pas suffisant ou n'est pas assez efficace, ou encore que l'apport local de saletés est trop important.

Les analyses AVCA actuelles confirment les observations faites jusqu'à présent concernant l'efficacité du nettoyage. Le nettoyage permet surtout de maintenir l'accessibilité aux pores proches de la surface. En l'absence de nettoyage, un colmatage à la surface de l'enrobé peut se produire assez rapidement, comme à Misery. Cela n'a toutefois pas pu être confirmé à Salvenach. Tant à Misery qu'à Salvenach, la comparaison des analyses AVCA actuelles avec celles des dernières années montre que l'apport de saletés ne peut plus être éliminé efficacement à partir d'une profondeur de 10 à 20 mm.

4.2 Recommandations

Se basant sur l'expérience acquise au fil des différentes études sur le nettoyage des revêtements phono-absorbant, et conforté par les résultats obtenus sur les sections nettoyées et non-nettoyées, le canton de Fribourg souhaite poursuivre sa démarche préventive de nettoyage dont le but est de prolonger la durée de vie acoustique des revêtements en réduisant le colmatage des pores, tout en n'endommageant pas la texture du revêtement. Plusieurs recommandations sont proposées pour mener à bien cette démarche :

- Pour réduire le risque de colmatage des pores de l'enrobé, il est nécessaire de réaliser le nettoyage dès la pose de l'enrobé.
- Le nettoyage vise avant tout à retarder le colmatage, son effet est en revanche très limité une fois le revêtement déjà colmaté. Il ne permet généralement pas de récupérer des performances acoustiques.
- Un nettoyage unique a généralement un effet limité, il est important de répéter les nettoyages plusieurs fois dans l'année pour éviter l'accumulation de saleté. L'idéal serait de réaliser le nettoyage juste après un apport important de saleté (réalisation d'un chantier, période d'agriculture intensive, etc).
- Les particules de saleté ont vraisemblablement tendance à se déplacer sous l'effet du trafic et du ruissellement, il est donc important de nettoyer les revêtements sur toute leur largeur afin d'éviter les accumulations de saleté résiduelles, et également de balayer les abords des revêtements phono-absorbants (intersections, partie avant et après le revêtement, etc.).

26.05.2023

On recommande par ailleurs la poursuite des études pour confirmer l'impact sur la durée de vie des nettoyages et également de mener des réflexions sur les ressources nécessaires (coût du nettoyage, consommation en eau claire, évacuation de l'eau sale et des déchets solides, etc.) afin d'évaluer le bénéfice effectif de la procédure par rapport au gain apporté sur la durée de vie des revêtements phono-absorbants.

Grolimund & Partenaires SA



Felix Schlatter

Nibuxs sàrl



Marc Delaby

Annexes

I Méthodes

La méthode CPX

La méthode CPX, utilisée par G+P SA, se base sur la norme SN EN ISO 11819-2:2021. Grâce à cette méthode, les propriétés acoustiques des revêtements routiers sont relevées par un mesurage continu et direct du bruit produit sur la chaussée par les pneumatiques via une remorque de mesure.

Système de mesure

Avec le système de mesure CPX, le niveau sonore est mesuré dans deux caissons insonorisés séparés, se trouvant à l'intérieur de la remorque à proximité immédiate des pneumatiques, avec deux microphones. La remorque G+P utilisée satisfait aux exigences de la norme SN EN ISO 11819-2:2021, qui définit les critères permettant de quantifier l'influence exercée sur les résultats de mesure par la réflexion acoustique propre au dispositif de mesure et par les bruits internes et externes (voir résultats des mesures en annexe 3).

Les jeux de pneumatiques d'essai utilisés sont représentés sur la Figure 17 (droite) et satisfont à la recommandation de la norme SN EN ISO 11819-3:2021: Uniroyal Tigerpaw (SRTT) 225/60-R16 (pneumatiques d'essai P1 pour véhicules légers) et Avon AV4 195-R14C (pneumatiques d'essai H1 pour poids lourds/trucks).



Figure 17: Remorque de mesure G+P et pneumatiques d'essai CPX P1 (gauche) et H1 (droite) d'après la norme SN EN ISO 11819-3:2021.

La Figure présente un schéma du système de mesure G+P.

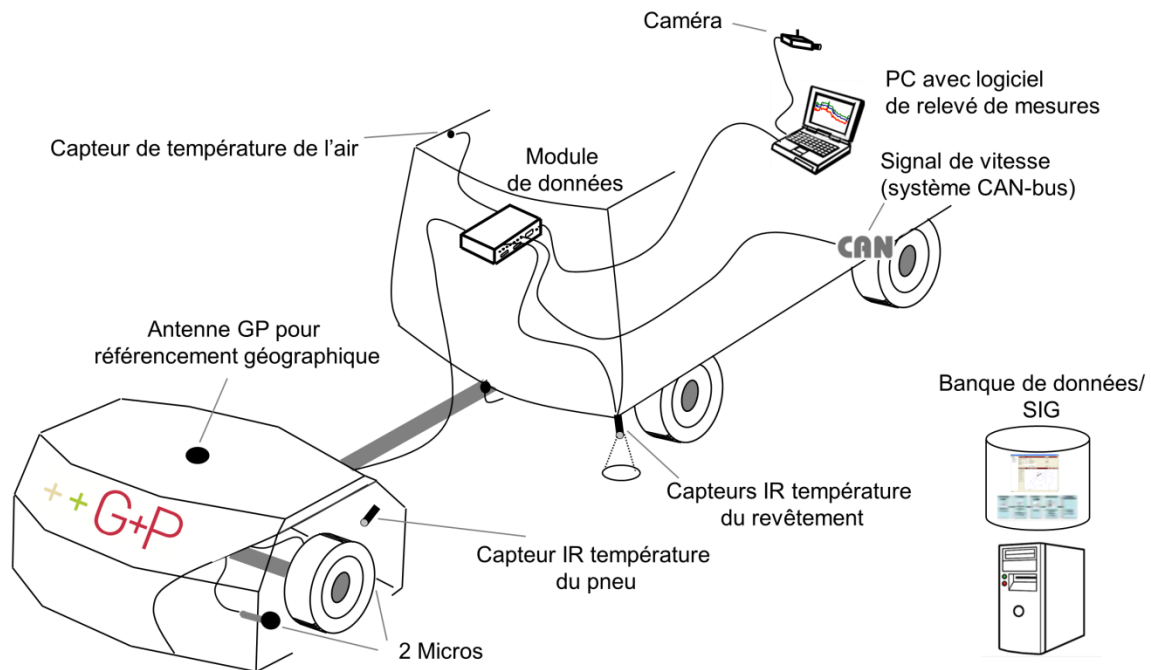


Figure 18: Aperçu schématique du système de mesure G+P.

Les signaux des 4 micros (2 micros de chaque côté), le signal de vitesse provenant du système CAN-Bus du véhicule de traction, le signal GPS de référence spatiale ainsi que les signaux des capteurs de température sont traités dans le module de données central, puis affichés par le programme de mesure. L'affichage graphique direct des signaux de mesure permet un suivi en continu de la totalité du processus de relevé pendant le trajet. Une caméra positionnée à l'avant du véhicule photographie en permanence la surface de la route pour permettre les interprétations et les contrôles. Le module de données affecte à toutes les mesures les indications de lieu et d'heure correspondantes, puis les données sont transférées pour évaluation dans une application de base de données développée en interne.

Méthode de relevé

Les niveaux sonores en dB(A) sont saisis en continu et pour chaque pneumatique pendant la totalité du parcours. Les signaux sont enregistrés par le micro à une fréquence de 8 Hz et la moyenne énergétique est calculée par segment de relevé (longueur 20 m). Le trajet de mesure doit se faire si possible à vitesse constante (vitesse de référence de 50 km/h ou 80 km/h).

Evaluation et étalonnage des données

L'analyse des données et leur évaluation sont réalisées d'après les démarches décrites dans les directives des normes SN EN ISO 11819-2:2021, SN EN ISO 11819-3:2021 et ISO/TS 13471-1:2017. Les résultats des mesures sont corrigés en fonction de la vitesse de parcours réelle, les réflexions propres liées au système de mesure, la température atmosphérique mesurée in situ à 1.5m du sol, et la dureté spécifique des pneumatiques. La figure 7 explique de manière schématique le déroulement de l'évaluation et de l'étalonnage des données.

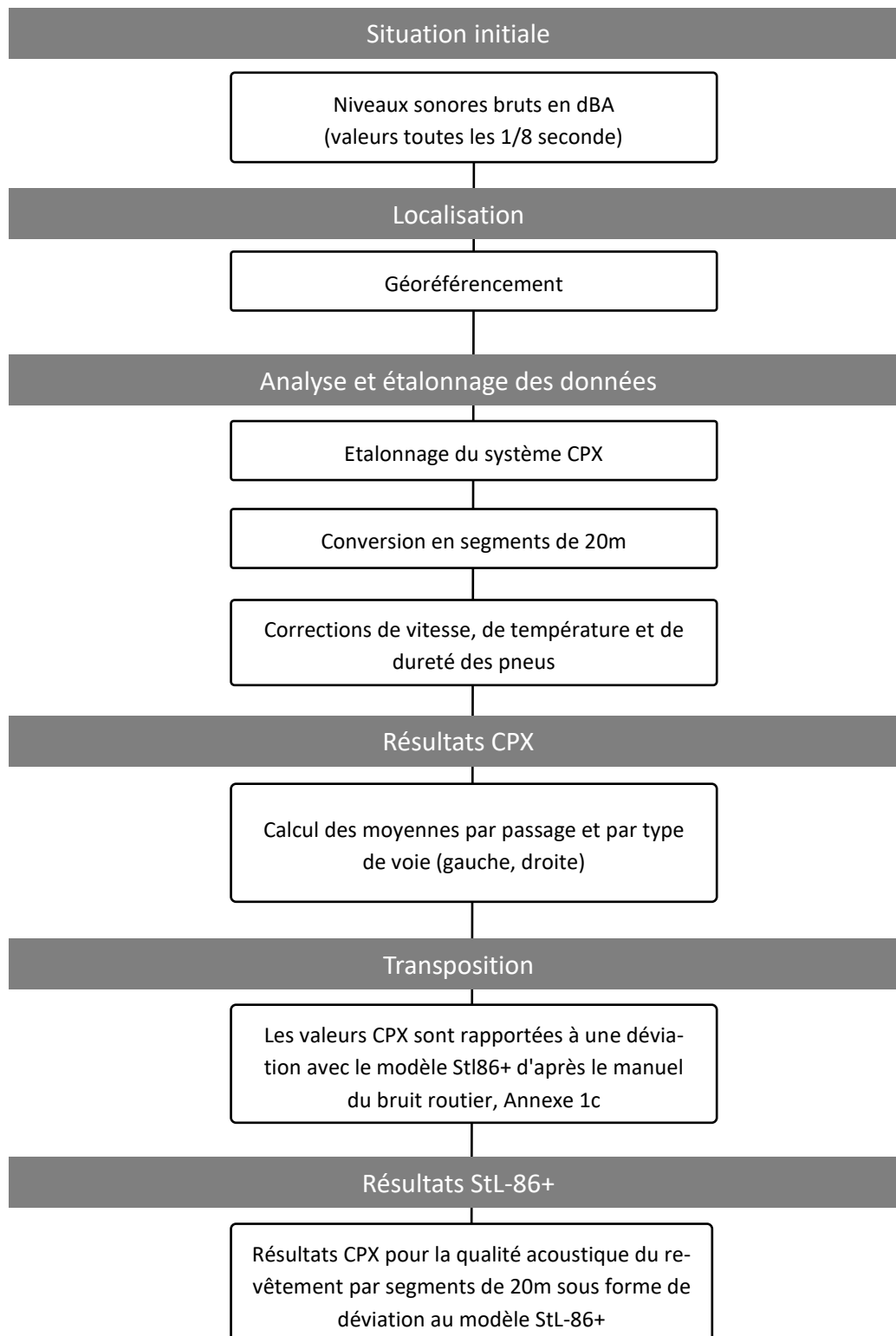


Figure 19 : Schéma du déroulement de l'évaluation et de l'étalonnage des données.

Dans un premier temps, les moyennes énergétiques des données spectrales issues des microphones m=1 et m=2 pour le caisson de mesure de gauche et pour le caisson de droite sont calculées de la manière suivante :

$$L'_{CPX:t,w,r,i,f} = 10 \cdot \lg \left[0.5 \cdot (10^{0.1 \cdot L_{CPX:t,w,r,i,f,1}}) + 0.5 \cdot (10^{0.1 \cdot L_{CPX:t,w,r,i,f,2}}) \right] \text{ dB} \quad (1)$$

$L_{CPX:t,w,r,i,f}$	Valeur index CPX par microphone
$L'_{CPX:t,w,r,i,f}$	Valeur index CPX par caisson de mesure
t	Pneus d'essais CPX (P1, H1)
w	Voie parcourue (gauche, droite)
r	Numéro de référence du parcours
i	Numéro de référence du segment de 20m
f	Bande de tiers d'octave [Hz] (315 à 5000 Hz)
m= {1,2}	Positions des microphones 1 et 2 pour chacun des caissons de mesure

Ensuite, des corrections sont appliquées pour les réflexions propres au système de mesure, la vitesse, la température et la dureté des pneus :

$$L_{CPX:t,w,r,i,f,v_{ref}} = 10 \cdot \lg \left[\sum_{f=315}^{5000} 10^{0.1 \cdot (L'_{CPX:t,w,r,i,f} + C_{d,t,f})} \right] \text{ dB} - C_{v,t,v_{ref}} - C_{T,t} - C_{H_{A,t}} \quad (2)$$

$L_{CPX:t,w,r,i,v_{ref}}$	Valeur index CPX corrigée par catégorie de pneu
$L'_{CPX:t,w,r,i}$	Valeur index CPX non corrigée par catégorie de pneu
$C_{d,t,f}$	Correction remorque basée sur des bandes de tiers d'octave [dB] par catégorie de pneu
$C_{v,t,v_{ref}}$	Correction de vitesse par rapport à la vitesse de référence et au type de pneu [dB(A)]
$C_{T,t}$	Correction de la température en fonction du type de pneu [dB]
$C_{H_{A,t}}$	Correction de la dureté des pneus en fonction du type de pneu [dB]
t	Pneus d'essai CPX (P1, H1)
w	Voie parcourue (gauche, droite)
r	Numéro de référence du parcours
i	Numéro de référence du segment de 20m
f	Bande de tiers d'octave [Hz] (315 à 5000 Hz)
v_{ref}	Vitesse de référence CPX [km/h] (50 km/h, 80 km/h) CPX

Correction remorque $C_{d,t,f}$

La correction remorque tient compte des réflexions propres au système de mesure et est additionnée à la valeur index CPX non corrigée par bande de tiers d'octave.

Correction de vitesse $C_{v,t,v_{ref}}$

La correction de vitesse par rapport à la vitesse de référence de 50km/h à l'intérieur des localités ou de 80 km/h sur les autoroutes se calcule comme suit :

$$C_{v,t,v_{ref}} = B \cdot \lg \left(\frac{v_{t,w,r,i}}{v_{ref}} \right) \text{ dB} \quad (3)$$

$C_{v,t,v_{ref}}$	Correction de vitesse par rapport à la vitesse de référence et au type de pneu [dB(A)]
B	Constante de vitesse [dB(A)]
$v_{t,w,r,i}$	Vitesse réelle [km/h] détaillée par type de pneu, voie parcourue, pneu gauche et droite, et segment de 20m.
v_{ref}	Vitesse de référence CPX [km/h] (50 km/h, 80 km/h)

Correction de température

Les valeurs index CPX peuvent être corrigées de deux manières en fonction des besoins du projet :

1. Selon la norme, à savoir conformément à ISO/TS 13471-1:2017

$$C_{T,t} = \gamma_{p,t} \cdot (T_{Air150} - T_{ref}) \quad (4)$$

$$\gamma_{p,t} = \gamma_{P1} = \gamma_{H1} = -\omega_p + \varphi_p \cdot v_{ref} \quad (5)$$

$C_{T,t}$	Correction de la température en fonction du type de pneu [dB]
$\gamma_{p,t}$	Facteur de correction de la température en fonction du type de revêtement et du type de pneu [dB/°C].
T_{Air150}	Température atmosphérique in situ enregistrée en continu à 1.5 m au-dessus du sol [°C].
T_{ref}	Température atmosphérique de référence de 20°C
ω_p	Constante dépendante du type de revêtement [dB/°C]
	$\omega_p = -0.14$ pour revêtement en asphalte dense (par ex. AC, SMA, MR)
	$\omega_p = -0.10$ pour revêtement en béton
	$\omega_p = -0.08$ pour les revêtements en asphalte poreux (par ex. SDA 4B/C/D, Nanosoft 4)
φ_p	Facteur de correction dépendant du type de revêtement [dB/(°C · km/h)]
	$\varphi_p = 0.0006$ pour revêtement en asphalte dense (par ex. AC, SMA, MR)
	$\varphi_p = 0.0004$ pour revêtement en béton
	$\varphi_p = 0.0004$ pour revêtement en asphalte poreux (par ex. SDA 4B/C/D, Nanosoft 4)
v_{ref}	Vitesse de référence [km/h]

2. D'une manière détaillée, c'est-à-dire conformément à Bühlmann et Ziegler (2011), "Temperature effects on tyre/road noise measurements", Proc. of InterNoise, Osaka.) :

$$C_{T,t} = \gamma_{T,t,P,f} \cdot (T_{Luft150} - 20^\circ C) \quad (6)$$

$C_{T,t}$	Correction de la température en fonction du type de pneu [dB]
$\gamma_{T,t,P,f}$	Facteur de correction spectral dépendant du type de revêtement et du type de pneu [dB(A) / °C]
T_{Air150}	Température atmosphérique in situ enregistrée en continu à 1.5 m au-dessus du sol [°C]

La correction détaillée de température est parfois utilisée pour le monitoring de revêtement exigeant un grand degré de précision pour l'application de la correction spectrale

Correction de dureté $C_{H_{A,t}}$

Les corrections de dureté de Shore sont calculées en fonction du type de pneu de la manière suivante :

$$C_{H_{A,t}} = \beta_t \cdot (H_{A,t} - H_{A,ref}) \quad (7)$$

$C_{H_{A,t}}$	Correction de dureté caractéristique du pneumatique [dB]
β_t	Facteur de correction propre au type de pneu [dB / unité de Shore A], $\beta_{P1} = \beta_{H1} = 0.20$ [dB/Shore A]
$H_{A,t}$	Dureté de référence à 20°C [Shore A]
$H_{A,t,ref}$	Dureté de référence caractéristique du pneu de référence [Shore A], $H_{A,P1,ref} = H_{A,H1,ref} = 66$ Shore A

Niveau CPX total

Pour le calcul du niveau CPX total, les niveaux de bruit de roulement corrigés sont moyennés arithmétiquement par pneu, par voie parcourue, et par segment de 20m.

$$L_{CPX:t,v_{ref}} = \frac{1}{n_w} \sum_{w=1}^{n_w} \left[\frac{1}{n_r} \sum_{r=1}^{n_r} \left(\frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^{n_i} L_{CPX:t,w,r,i,v_{ref}} \right) \right] \quad (8)$$

Transposition à STL-86+

Les valeurs index CPX représentent le niveau sonore absolu à une distance de 20 cm des pneumatiques. Pour l'interprétation des résultats, l'écart par rapport au modèle d'émission STL-86+, en vigueur en Suisse, est décisif. Dans ce but, les valeurs index CPX sont corrélées avec des mesures SPB (Statistical Pass-by – mesures au passage). Les mesures SPB utilisées pour la mise en corrélation ont été effectuées conformément au document Notice technique concernant le mesurage des qualités acoustiques des revêtements de route (OFROU/OFEV, 2006, Document UV-0637, annexe 1c).

La précision de ces courbes de conversion a été vérifiée à l'aide d'analyses corrélatives et régressives. Les taux de corrélation (R^2) sont de 94% pour L_CPX:P et SPB N1 (mesures au passage de voitures et de véhicules légers) et de 64% pour L_CPX:H et SPB N2 (mesures au passage de camions et de véhicules lourds).

Les intervalles de confiance de 95% se situent entre ± 0.2 et ± 0.8 dBA pour le modèle de conversion L_CPX:P - SPB N1. Les intervalles de confiance de 95% se situent entre ± 0.3 et ± 1.4 dBA pour le modèle de conversion LCPX:H - SPB N2.

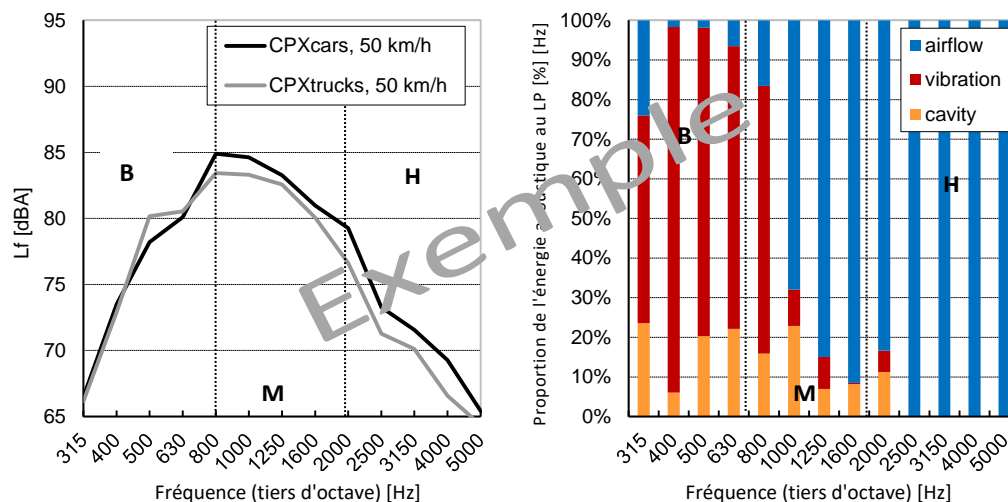
II Explications relatives aux graphiques

Valeurs acoustiques caractéristiques en référence au modèle StL-86+

Les valeurs acoustiques caractéristiques des revêtements sont une moyenne arithmétique de tous les segments des deux directions, arrondie à une décimale. En fonction de l'homogénéité des deux directions d'un tronçon routier, la moyenne des deux directions peut différer des moyennes de chaque direction calculée séparément (se référer aux protocoles en annexe 5).

Analyse de fréquence

L'interprétation de l'analyse de spectre est expliquée par l'exemple d'un revêtement SMA 11.



Le spectre des bruits émis sur la chaussée par les pneumatiques est réparti en trois secteurs de fréquence majeurs :

- Basse (B) : dans le domaine des fréquences basses, le bruit est surtout provoqué par des mécanismes se rapportant aux vibrations. La résonance des corps creux (cavités) et les bruits liés à la circulation de l'air jouent un rôle secondaire.
- Moyenne (M) : le spectre des fréquences moyennes tient lieu de transition entre les bruits de vibrations et les bruits de la circulation de l'air. Il se rapporte également, dans une large mesure, aux résonances dues aux corps creux.
- Haute (H) : les bruits liés à la circulation de l'air sont les plus importants dans le secteur des fréquences hautes. Selon les recherches les plus récentes, on part du principe que le bruit provoqué dans ce spectre de fréquence par les vibrations est nettement plus faible, sans être toutefois négligeable.

III Informations sur les mesures et les appareils

SN EN ISO 11819-2:2021

(Mesurage - Close Proximity)

Année de
mesure 2021

Allgemeine Angaben

Evaluations par Grolimund + Partenaires SA
Thunstrasse 101A
3006 Berne
Tel +41 31 356 20 00
Fax +41 31 356 20 01

Outil d'évaluation CPX DB, G+P SA

Equipe de relevés de mesures
Jours de mesures



Messgeräte & Messsystem

Type de remorque	Remorque M+P XL9CPX750, à deux roues				
Insertion loss	Raport M+P.GUNDP.08.01.1, le 24. juin 2008				
Etalonnage remorque	G+P, 18.02.2021				
PAK Mobil	PAK Mobil Mk. II	Pneu	type:	P1 Uniroyal Tigerpaw SRTT H1 Avon AV4	
Micros	MTG MK250B Nr. 7843 MTG MK250B Nr. 7847 MTG MK250B Nr. 7844 MTG MK250B Nr. 7845		date de production:	P1 2616 H1 1511	
Micros réserves	MTG MK250B Nr. 7846 MTG MK250B Nr. 9878	Capteurs IR		Raytek MID10LT Raytek MID10LTTCB3	
Préamplificateur	MTG MV210 Nr. 1384 MTG MV210 Nr. 1385 MTG MV210 Nr. 1386 MTG MV210 Nr. 1389	Enregistreur température		EasyLog 40KH Nr. 00201184 EasyLog 40KH Nr. 00205934	
		Caméra		Logitech QuickCam Pro 9000	
Etalonneur	B&K 4231 Nr. 2637555				

Kalibrierungsbericht Anhänger

Sommaire

- Der Test für den Einfluss geräteeigener Schallreflexionen gegenüber der Messung im freien Feld erfolgte mittels der Enclosure Fitting Methode. Der Test wurde am 18. Februar 2021 durchgeführt.

SRTT

Frequenz [Hz]	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
Einfluss Linke Kammer	-0.7	-0.3	-1.7	0.7	-0.4	1.0	0.0	-0.4	0.6	0.3	0.3	1.5
Einfluss Rechte Kammer	-0.6	0.0	-1.5	1.0	0.3	0.5	0.0	-0.5	0.4	0.6	0.3	1.5

Avon AV4

Frequenz [Hz]	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
Einfluss Linke Kammer	0.6	-0.9	-1.7	0.9	0.9	0.5	0.0	-0.2	-0.2	0.5	0.3	0.8
Einfluss Rechte Kammer	0.6	-1.1	-1.3	1.2	0.9	0.4	0.0	0.5	-0.3	0.7	0.4	0.6

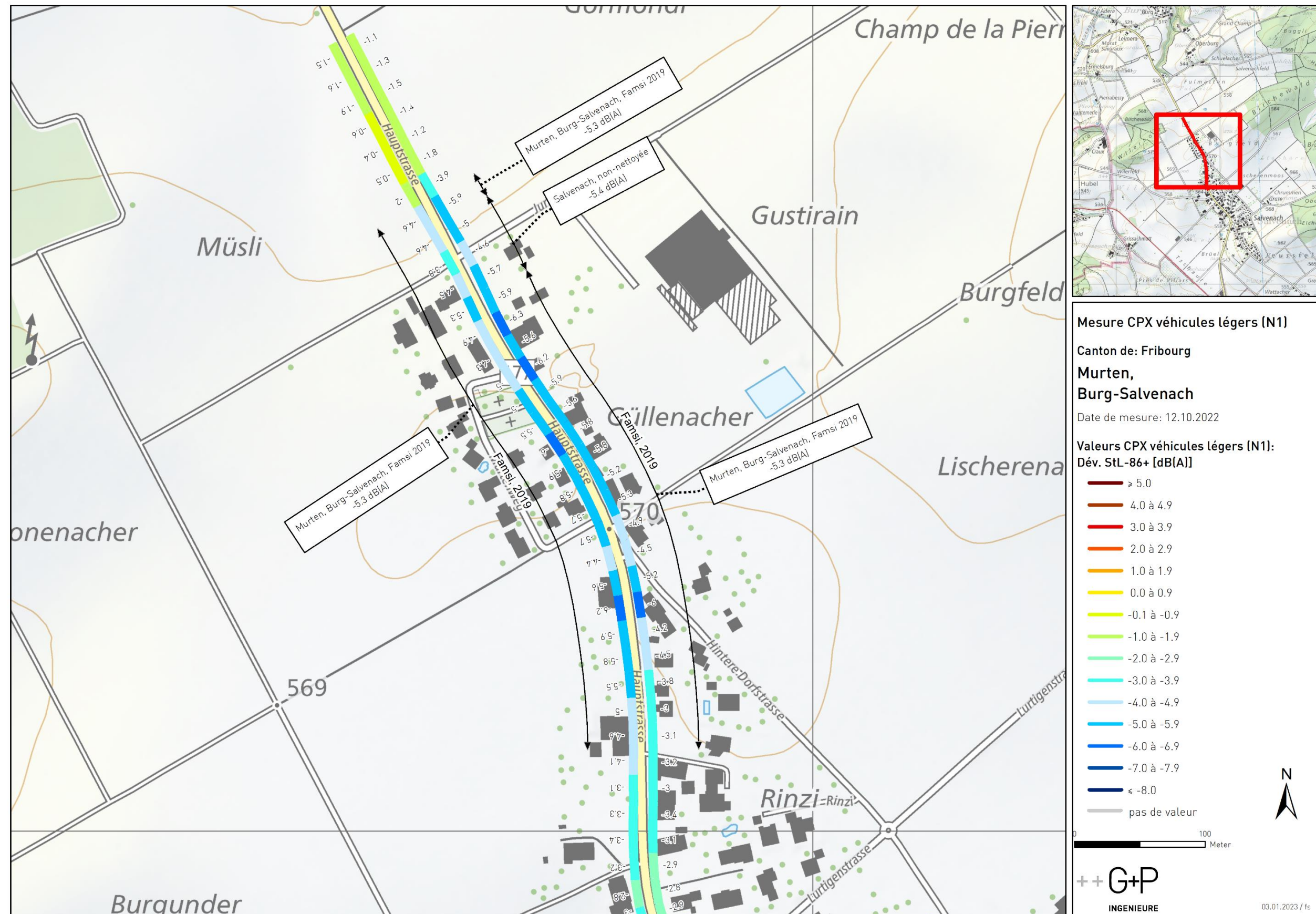
- Die Tests für den Einfluss messsystemeigener Störgeräusche sowie für die Empfindlichkeit gegenüber Störgeräuschen des übrigen Strassenverkehrs ergaben, dass der G+P CPX-Anhänger bei Messgeschwindigkeiten von 50, 80 und 110 km/h in dichtem Verkehr verwendet werden kann. Bei Messungen bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h können die Messresultate jedoch durch laute Vorbeifahrten von LKW's mit Tempo 80 km/h beeinflusst werden. Die gemessenen Pegel sind entsprechend zu überprüfen.
- Die detaillierten Ergebnisse des Insertion Loss Tests sind im Bericht M+P.GUNDP.08.01.1 vom 24. Juni 2008 beschrieben.

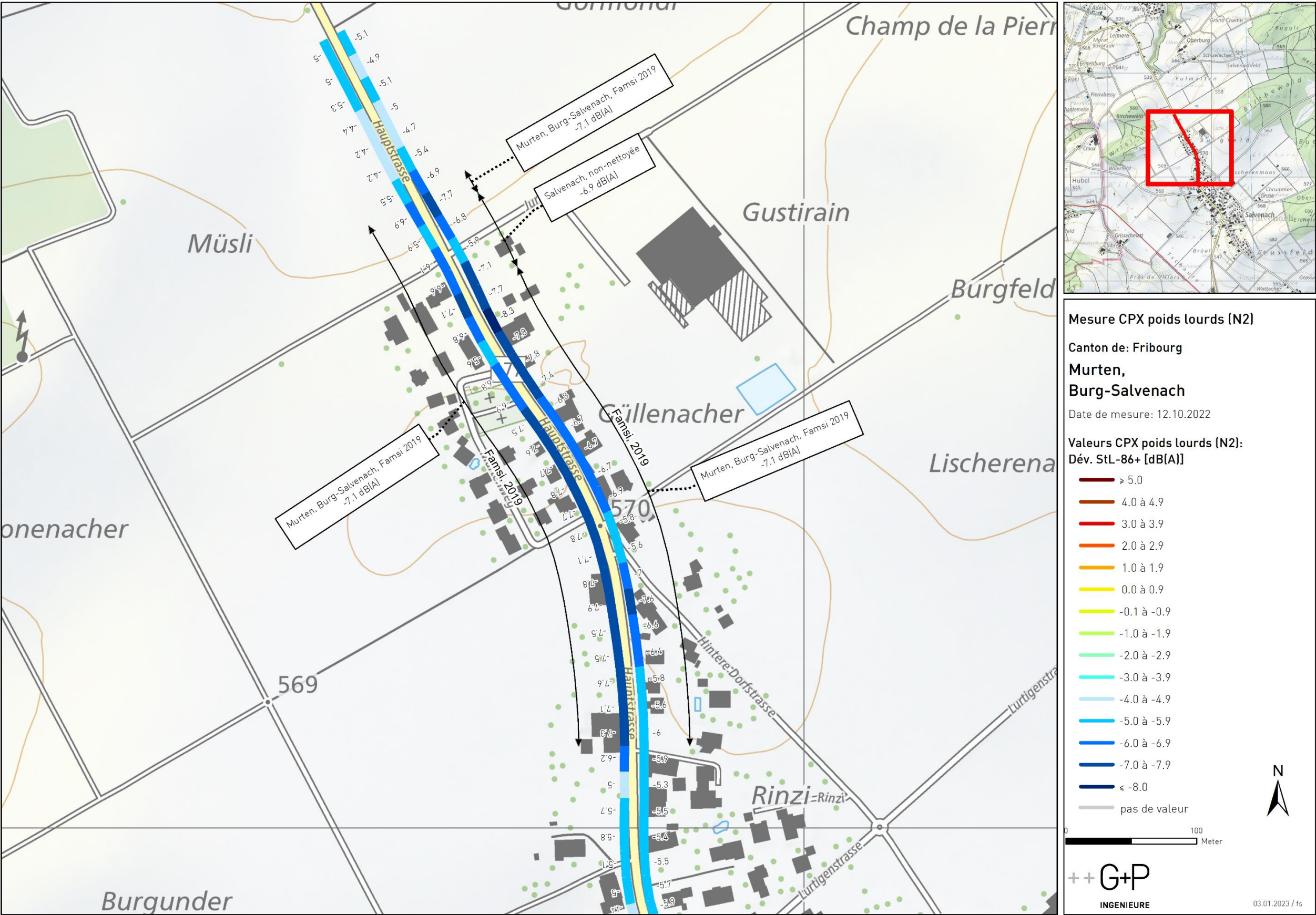
Grolimund + Partner AG

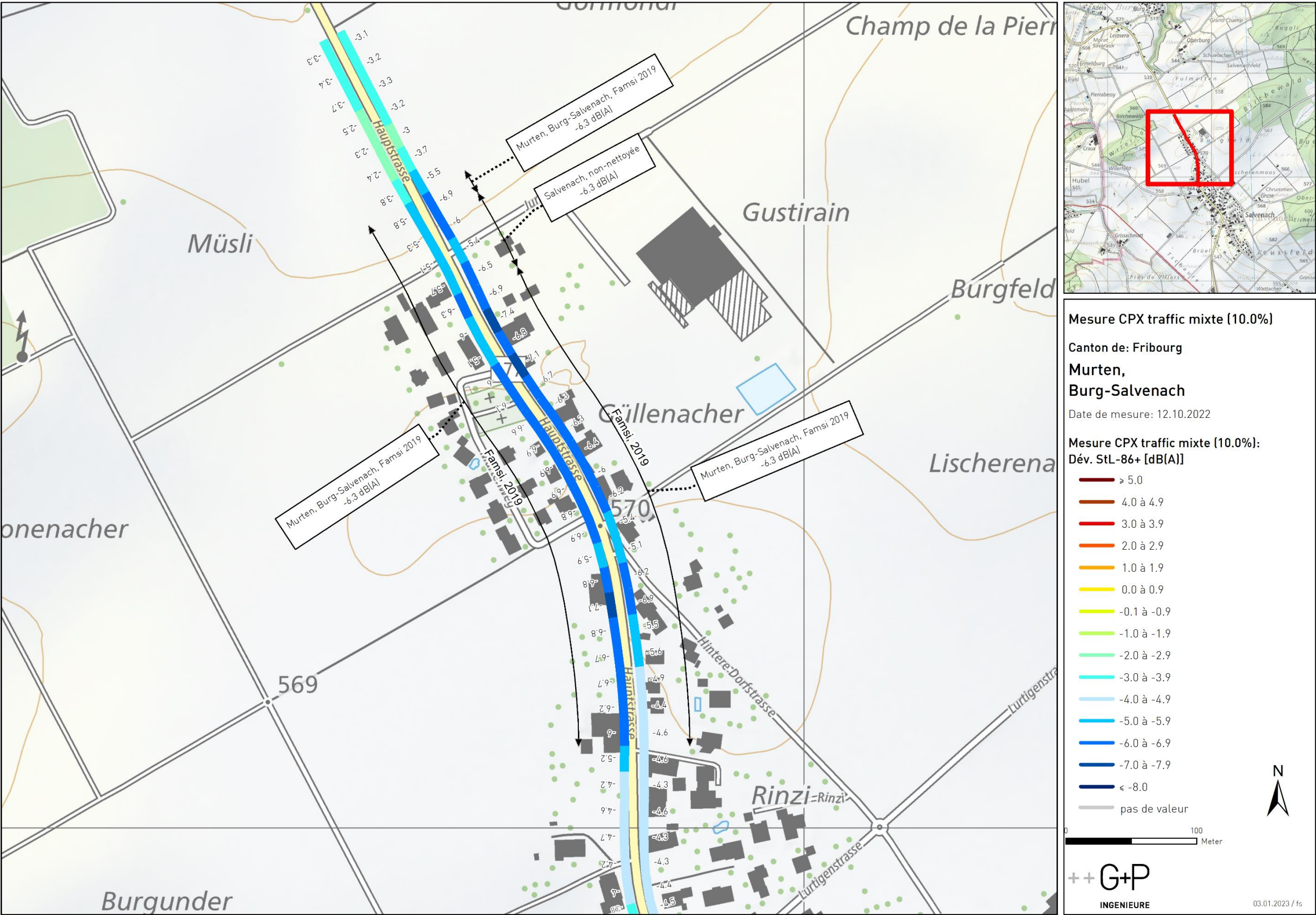
Erik Bühlmann

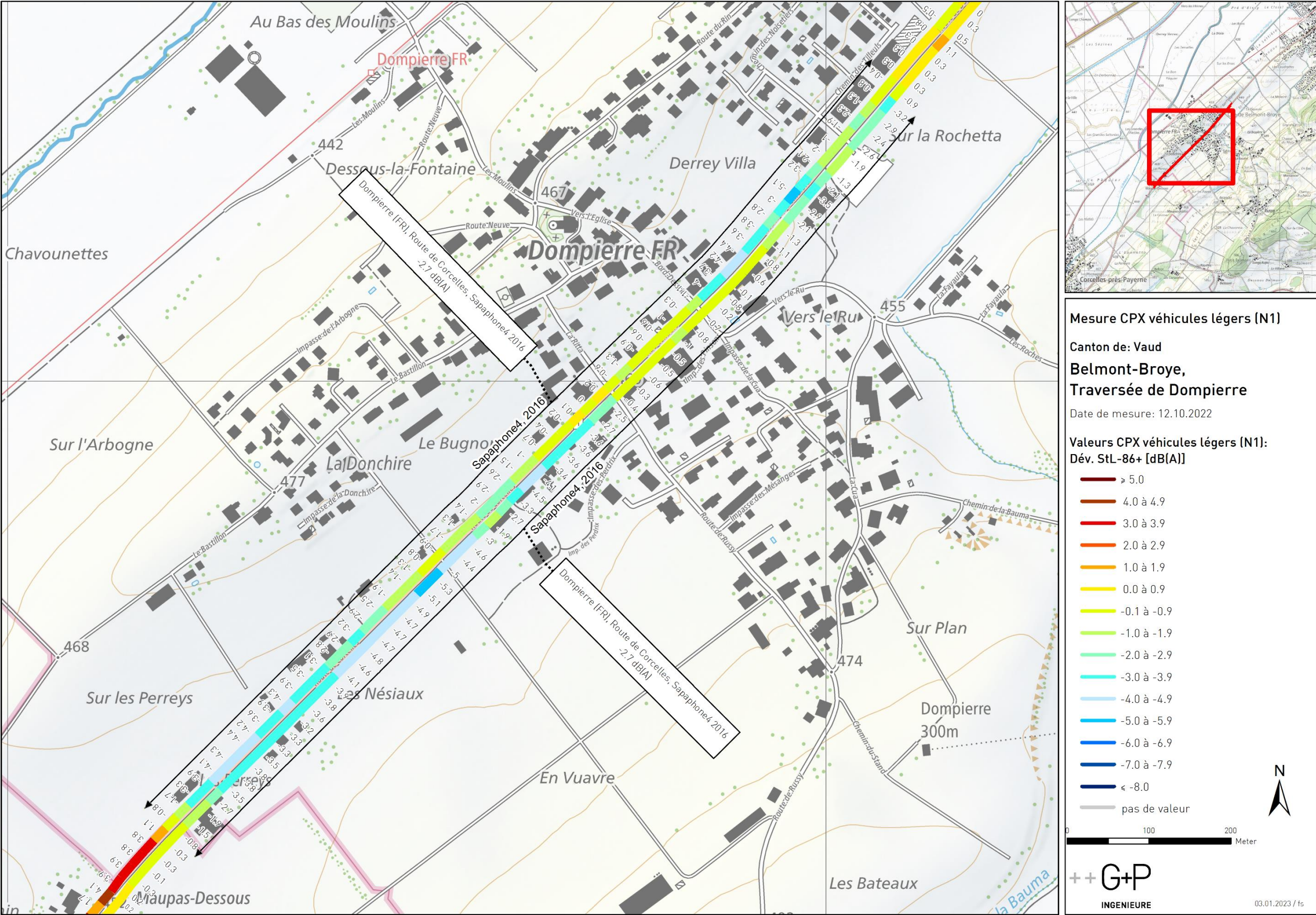
Jonas Knöpfel

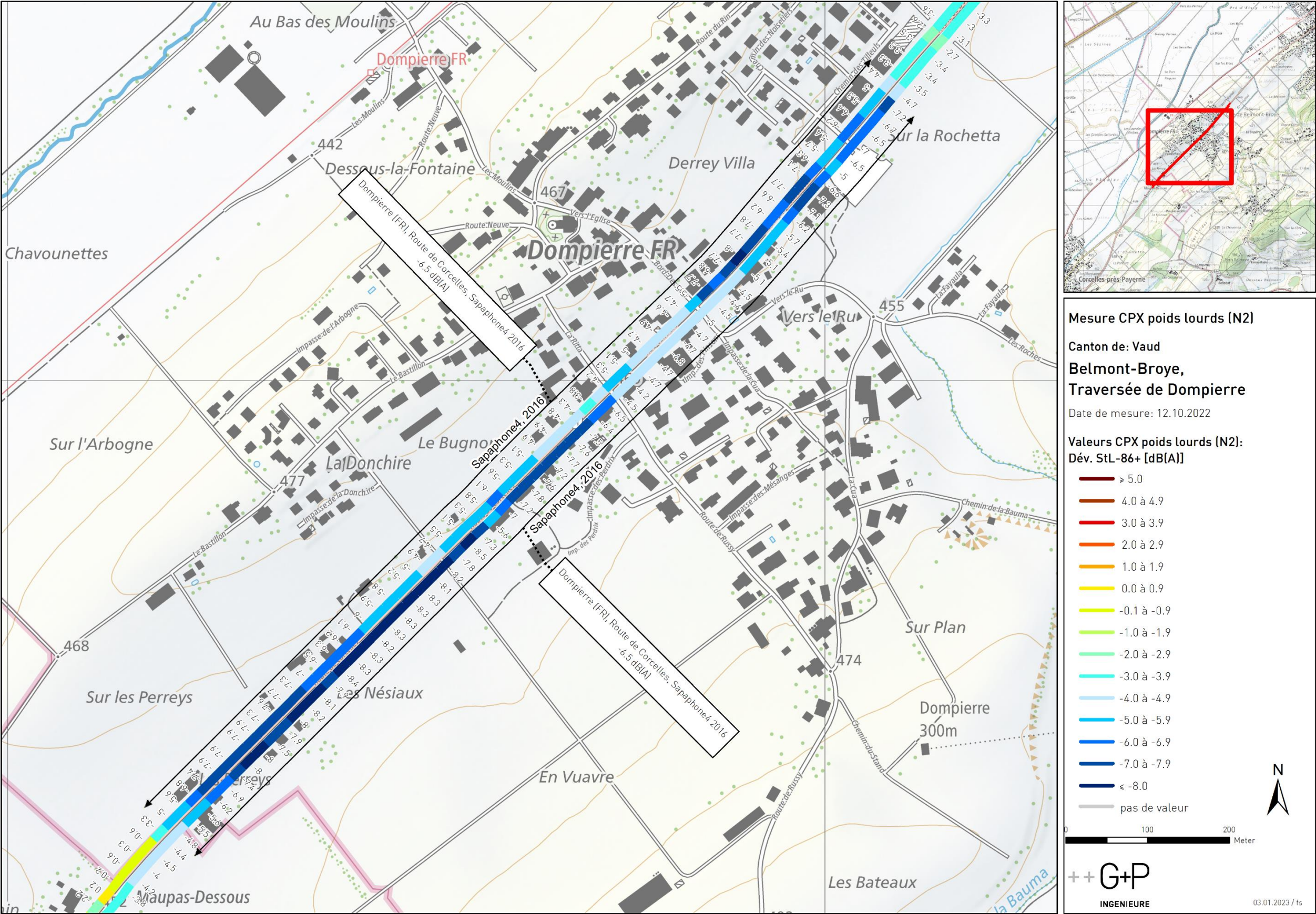
IV Plans d’ensemble des résultats de mesure CPX

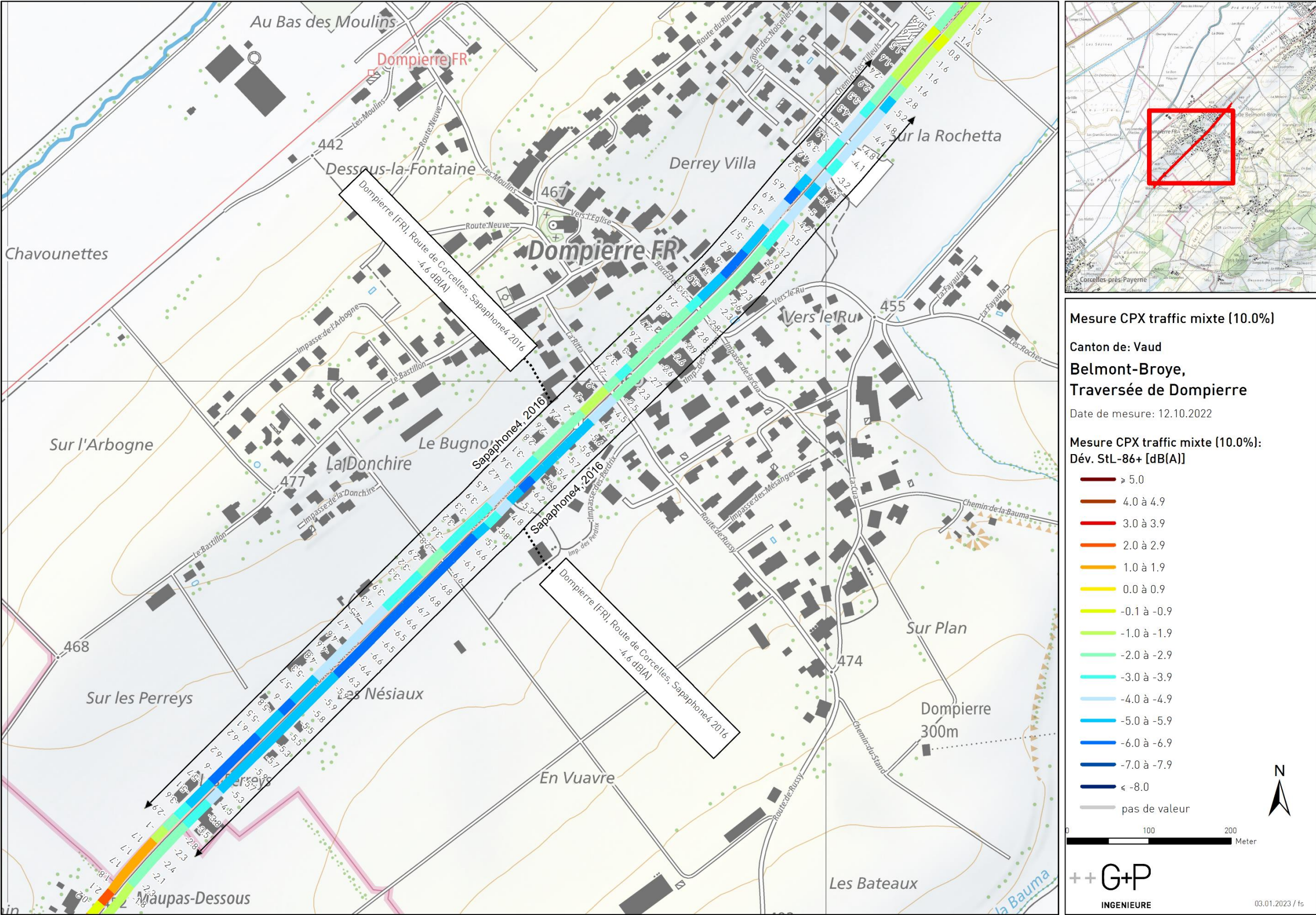


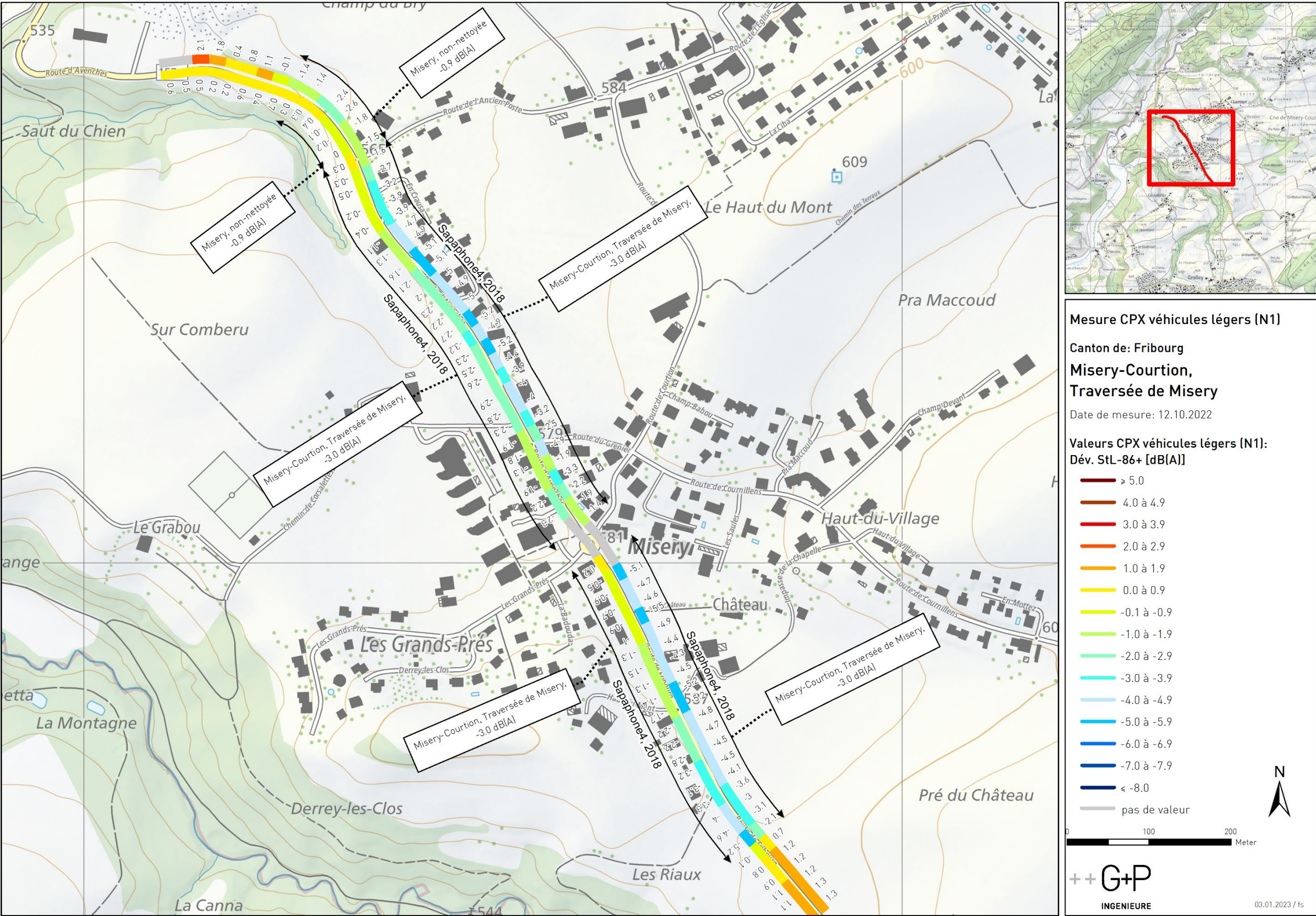


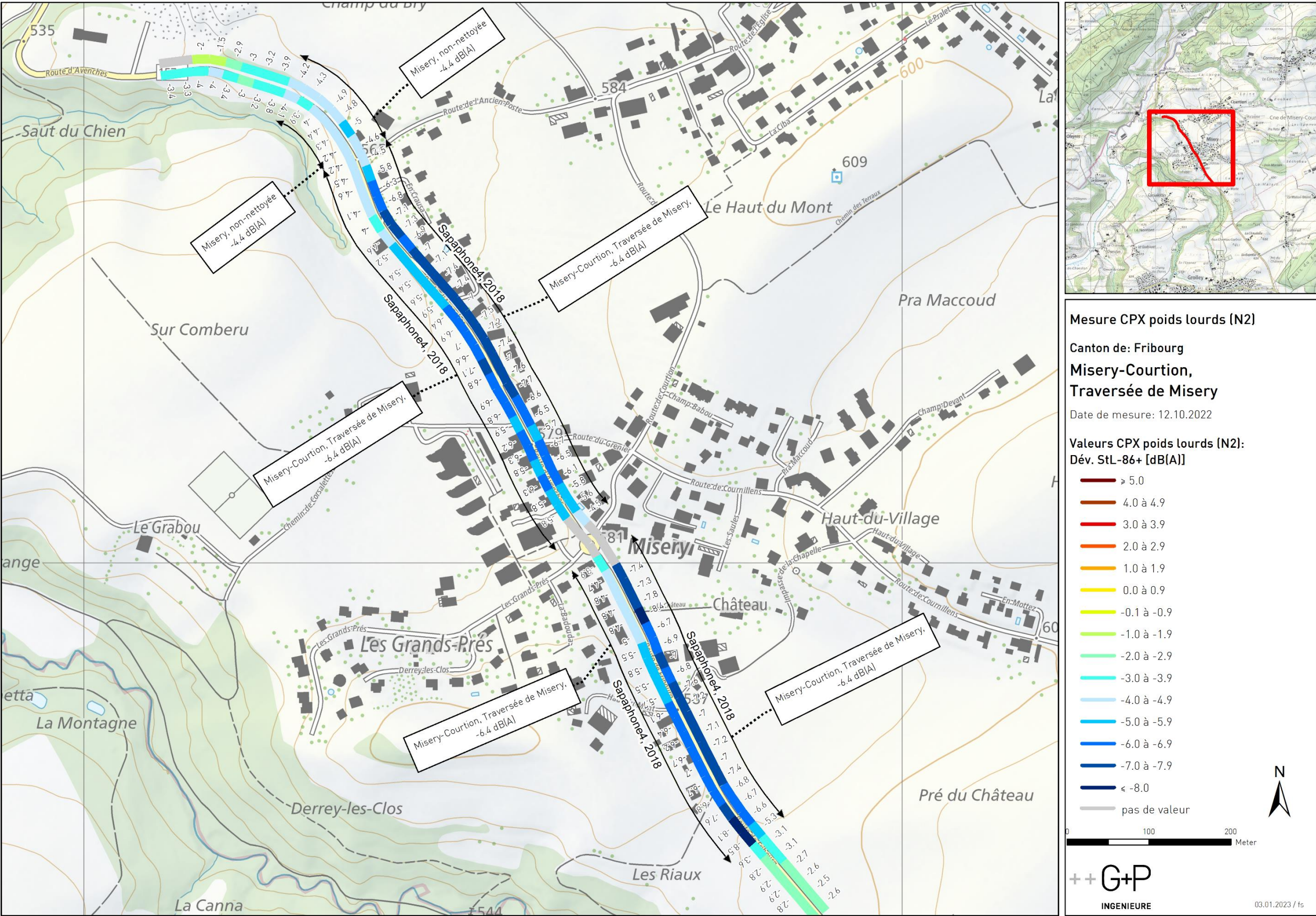


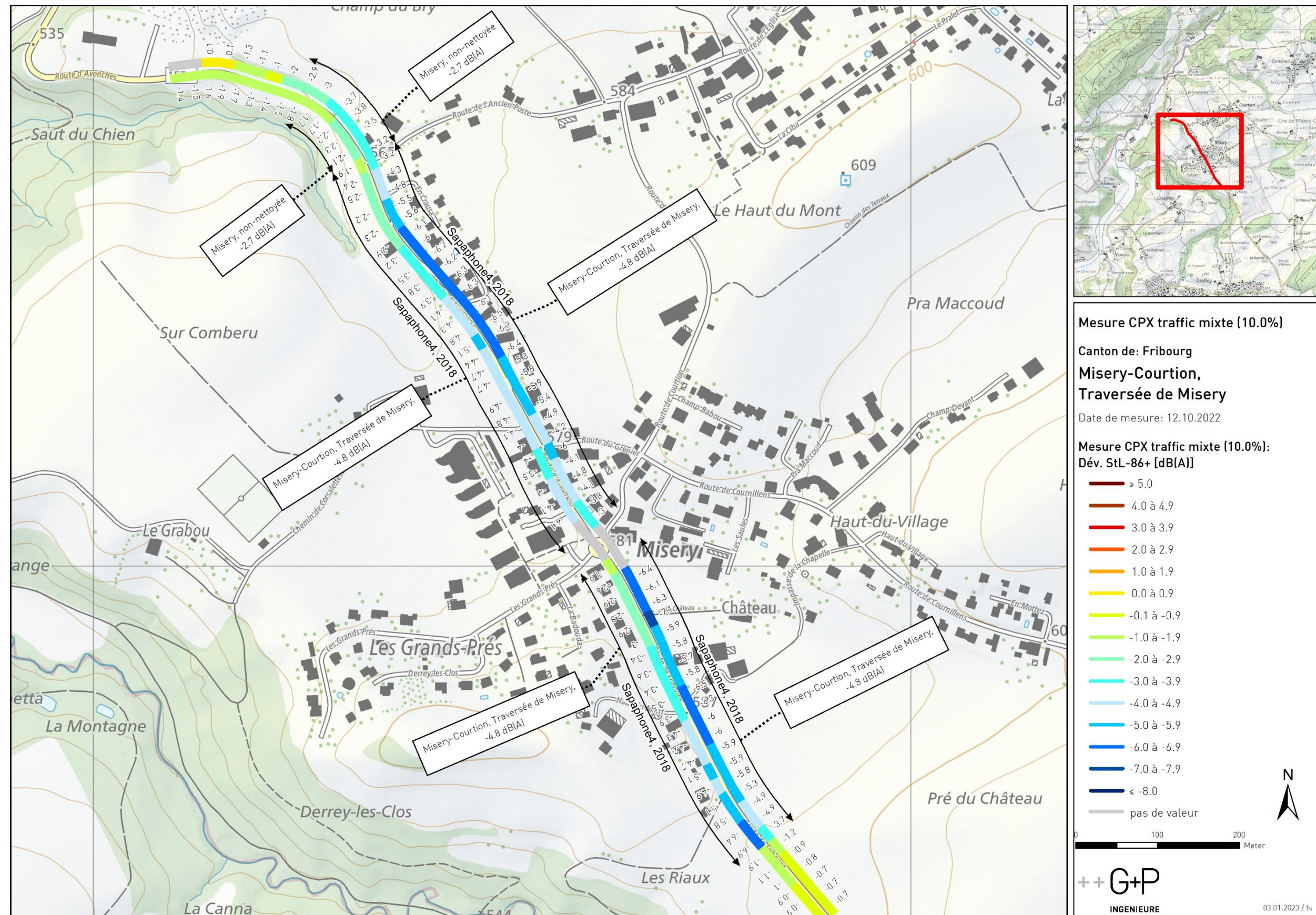










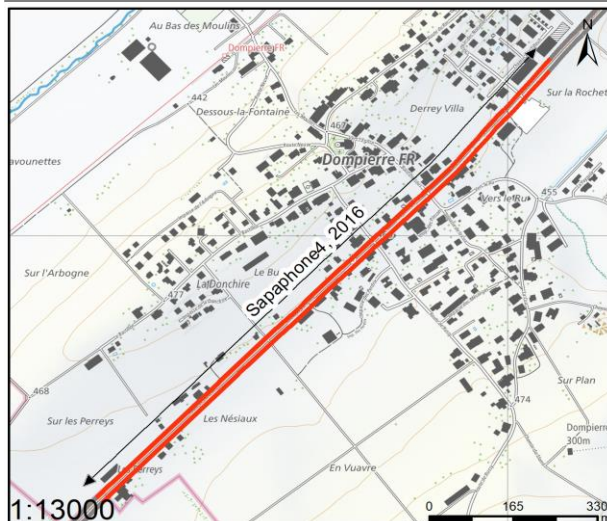


V Protocoles de mesure

Belmont-Broye, Traversée de Dompierre: Sapaphone4 (2016)

Propriétés acoustiques du revêtement
6 ans après la pose

Détails de situation

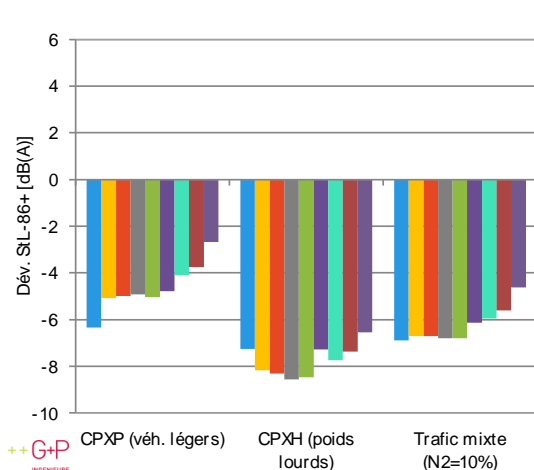


Lieu	Canton:	Fribourg
	Commune:	Dompierre (FR)
Parcours d'essai	Longueur:	1780 [m]
	Catégorie de rue	Voie seule
	Coordonnées:	Départ Fin
	x	566261 565068 [CH1903]
	y	189560 188296 [CH1903]
Revêtement	Type:	Sapaphone4
	Année de pose:	2016
	Longueur du tronçon:	1120 [m]
	Porosité de carottage:	n.d. [%]
Projet	Donneur d'ordre:	Kt FR
	Bureau d'ing.:	G+P SA, BE
	Projet-Nr.:	A6623
	Objectif:	Monitoring
	Responsable:	E. Bühlmann

Mesurage

Méthode de mesure	CPX	Correction de	Vitesse de référence:	50 [km/h]
Equipe	mh + mku	vitesse	Constante de vitesse:	B = 30
Date	Date: 12.10.2022	Valeur indexée	P1 Pneu véh. légers:	CPXP = L _{CPX} P1
	Heures: 16:00 - 17:00		H1 Pneu poids lourds:	CPXH = L _{CPX} H1
Température	Air 1.5m: 18.7 [°C]	Pneus	Type:	P1 Uniroyal Tigerpaw SRTT
	Revêtement: 21.1 [°C]		H1	Avon AV4
	Pneu: 20.3 [°C]		P1	1019
	Facteur de P1 -0.110 [dB(A)/°C]	date de	H1	1112
	correction: H1 -0.110 [dB(A)/°C]	production:		
		mise en service:	Mars	2022
		Durété des	P1	gauche 68.5 [ShoreA]
		pneus		droite 68.5 [ShoreA]
		(03.10.2022):	H1	gauche 72.9 [ShoreA]
				droite 72.5 [ShoreA]
Méthode de correction:	Norm"	Modele de conversion	Corrélation entre CPX et SPB relevée en 67	
Remarques	" SN EN ISO 11819-2:2021	CPX - STL86+	points, depuis 09.2011	

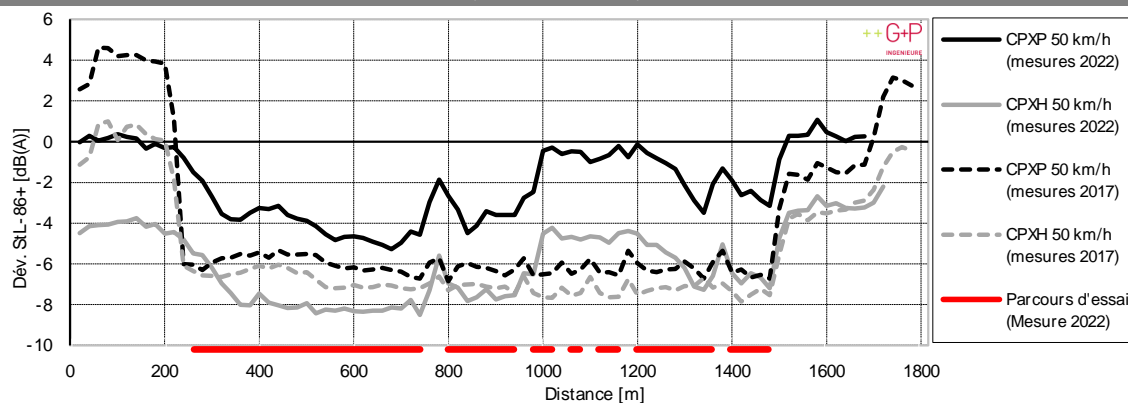
Propriétés acoustiques du revêtement en fonction du temps



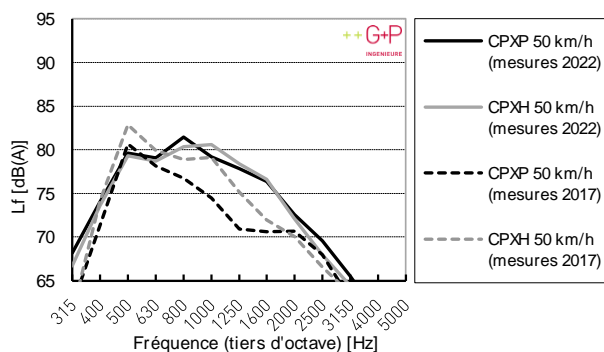
Année de mesure	Valeurs moyennes* de la dernière mesure (2022)	
	L _{CPX}	Dév. STL-86+
2017	CPXP (véh. légers)	87.9 -2.7
	écart type	1.2 -
2018	CPXH (poids lourds)	87.8 -6.5
	écart type	0.9 -
2018	Trafic mixte (N2=10%)	- -4.6
Année de mesure	Valeurs moyennes* de la première mesure (2017)	
	L _{CPX}	Dév. STL-86+
2019	CPXP (véh. légers)	85.0 -6.3
	écart type	0.4 -
2020	CPXH (poids lourds)	87.3 -7.3
	écart type	0.4 -
2021	Trafic mixte (N2=10%)	- -6.9
2022		

* moyenne arithmétique de tous les segments valides pour les deux sens de circulation

Résultat StL86+ direction Nord (voie de roulement)



Analyse de fréquences



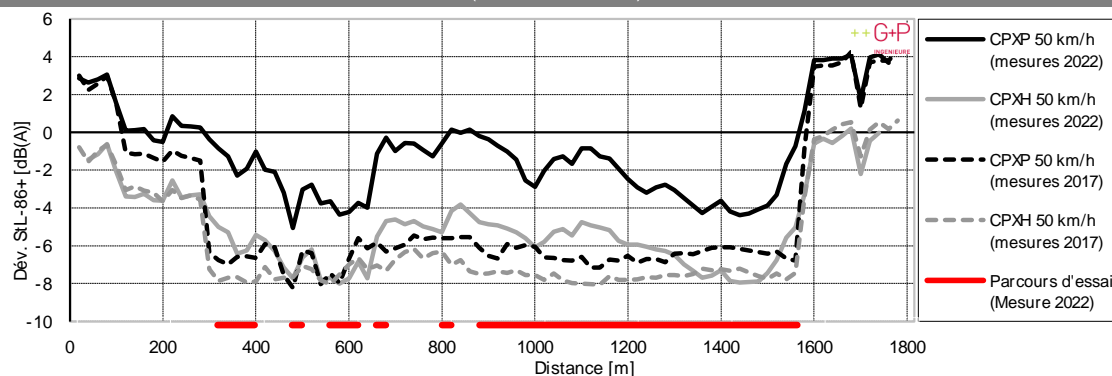
Trajets de mesurage	P1	H1
Nombre	3	3
Vit. de mesure	50.2	50.2
Ecart type	0.3	0.2

Valeurs moyennes* de la dernière mesure (2022)

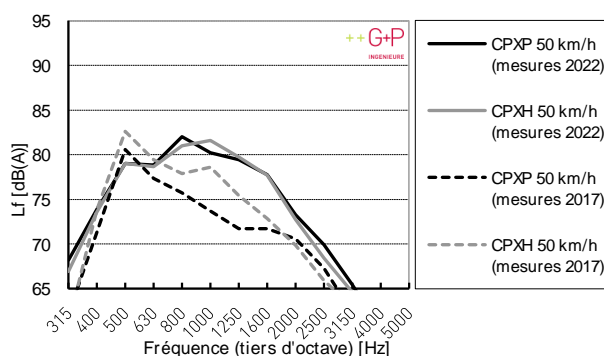
	L_{CPX}	Dév. StL-86+
CPXP (véh. légers)	87.7	-2.9
écart type	1.2	-
CPXH (poids lourds)	87.6	-6.9
écart type	1.0	-

*moyenne arithmétique de tous les segments valides

Résultat StL86+ direction Sud (voie de roulement)



Analyse de fréquences



Trajets de mesurage	P1	H1
Nombre	3	3
Vit. de mesure	50.2	50.3
Ecart type	0.3	0.2

Valeurs moyennes* de la dernière mesure (2022)

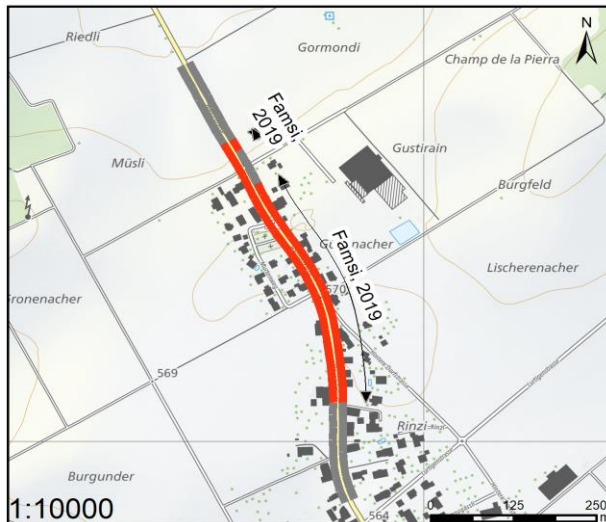
	L_{CPX}	Dév. StL-86+
CPXP (véh. légers)	88.2	-2.4
écart type	1.1	-
CPXH (poids lourds)	88.1	-6.2
écart type	0.8	-

*moyenne arithmétique de tous les segments valides

Murten, Burg-Salvenach: Famsi (2019)

Faktenblatt akustische Belagsgüte 3 Jahre nach Belageinbau

Standortdetails

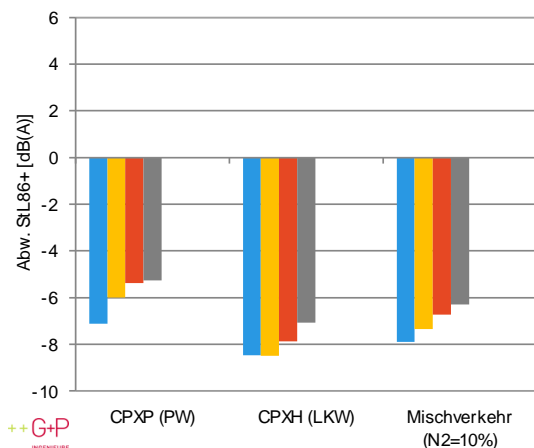


Ort	Kanton:	Freiburg
	Gemeinde:	Murten
Messstrecke	Streckenlänge:	760 [m]
	Strassenbez.	Einspurig
	Koordinaten:	Start Ende
	x	577650 577878 [CH1903]
	y	196589 195922 [CH1903]
Belag	Typ:	Famsi
	Einbaujahr:	2019
	Abschnittslänge:	420 [m]
	HR am Bohrkern:	k.A. [%]
Projekt-Nr.:	Auftraggeber:	Kt FR
	Ing. Bür:	G+P AG, BE
	Projekt-Nr.:	A6623
	Zielsetzung:	Monitoring
	Verantwortlich:	E. Bühlmann

Messung

Messart	CPX	Geschwindigkeits-	Referenzgeschwindigkeit:	50 [km/h]
Messequipe	mh + mku	korrektur	Geschwindigkeitskonstante:	B = 30
Messzeit	Datum:	12.10.2022	Indexwerte	P1 Reifen PW: CPXP = L _{CPX} P1
	Zeitraum:	13:00 - 19:00		H1 Reifen LKW: CPXH = L _{CPX} H1
Temperatur	Luft 1.5m:	15.2 [°C]	Reifen Typ:	P1 Uniroyal Tigerpaw SRTT
	Belag:	15.7 [°C]		H1 Avon AV4
	Reifen:	16.3 [°C]	Produktions-	P1 1019
	Korrektur-	P1 -0.110 [dB(A)/°C]	datum:	H1 1112
	faktor	H1 -0.110 [dB(A)/°C]	Inbetriebnahme:	März 2022
			Reifenhärte	P1 links 68.5 [ShoreA]
				rechts 68.5 [ShoreA]
				H1 links 72.9 [ShoreA]
				rechts 72.5 [ShoreA]
Korrekturverfahren	Norm"			
Bemerkung	" SN EN ISO 11819-2:2021			
		Umrechnungsmodell	Korrelation basiert auf 67 CPX-SPB-	
		CPX zu StL86+	Wertepaaren (Erstelldatum: 09.2011)	

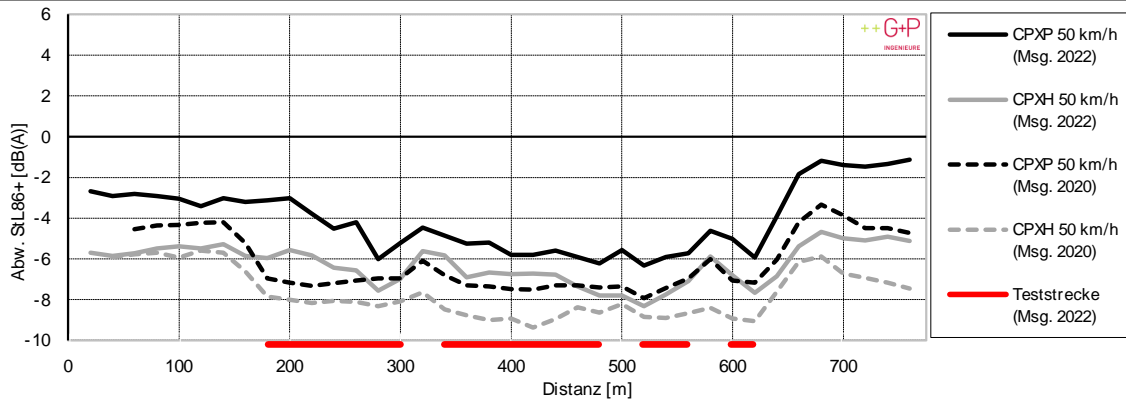
Akustische Belagsgüte im Zeitverlauf



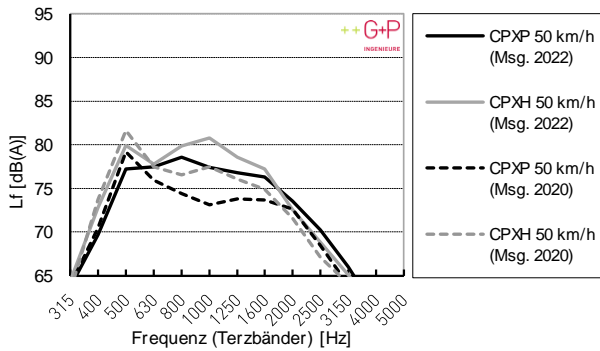
Messjahr	Mittelwerte* der aktuellsten Messung (2022)		
		L _{CPX}	Abw. StL86+
2020	CPXP (PW)	85.9	-5.3
	Standardabw.	0.6	-
2021	CPXH (LKW)	87.5	-7.1
	Standardabw.	0.5	-
	Mischverkehr (N2=10%)	-	-6.3
	Mittelwerte* Erstmessung (2020)		
		L _{CPX}	Abw. StL86+
	CPXP (PW)	84.4	-7.1
	Standardabw.	0.3	-
	CPXH (LKW)	86.4	-8.5
	Standardabw.	0.3	-
	Mischverkehr (N2=10%)	-	-7.9

*arithmetischer MW über alle gültigen
Messsegmente beider Fahrtrichtungen

Résultats StL86+ Fahrtrichtung Nord (Radspur)



Frequenzanalyse

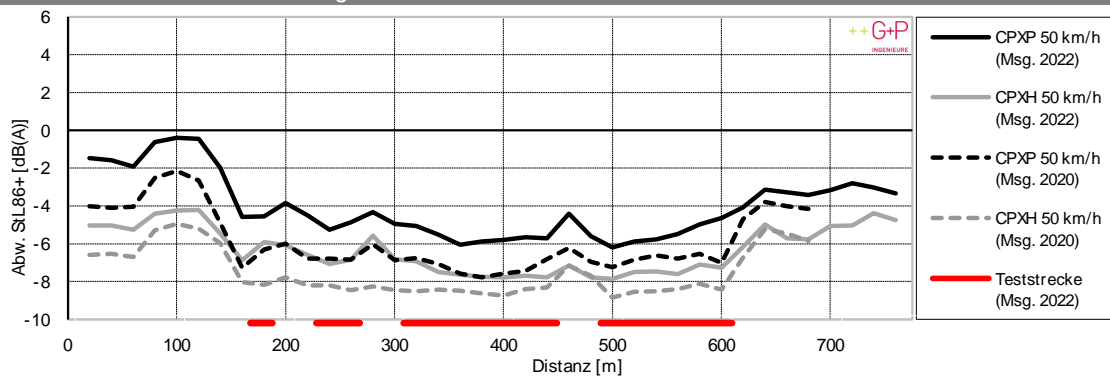


Messfahrten	P1	H1
Anzahl	3	3
Messgeschw.	50.3	50.1
Standardabw.	0.5	0.5

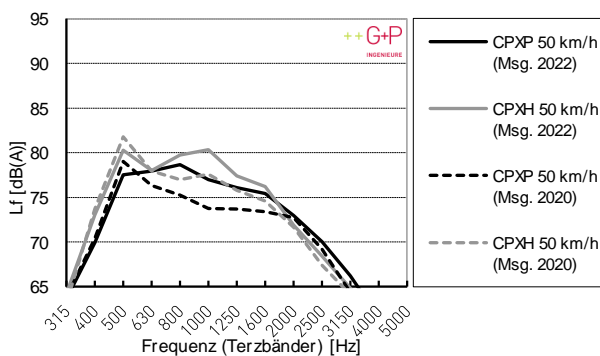
Mittelwerte* der aktuellsten Messung (2022)	L _{CPX}	Abw. StL86+
CPXP (PW)	85.9	-5.2
Standardabw.	0.8	-
CPXH (LKW)	87.6	-6.9
Standardabw.	0.5	-

*arithmetischer MW über alle gültigen Messsegmente der Fahrbahn

Résultats StL86+ Fahrtrichtung Süd (Radspur)



Frequenzanalyse



Messfahrten	P1	H1
Anzahl	3	0
Messgeschw.	50.1	50.2
Standardabw.	0.2	0.2

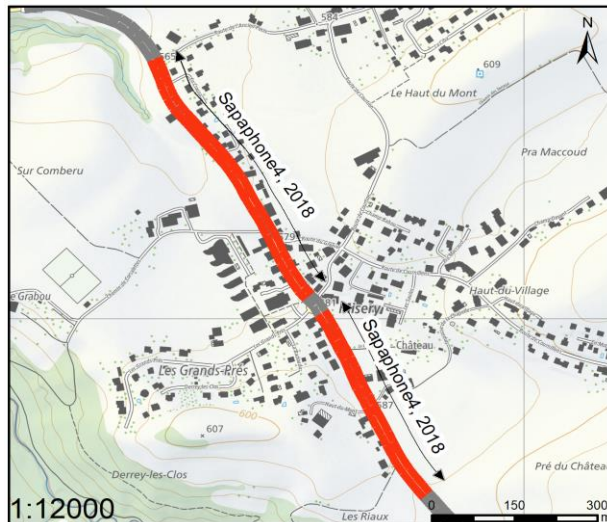
Mittelwerte* der aktuellsten Messung (2022)	L _{CPX}	Abw. StL86+
CPXP (PW)	85.8	-5.3
Standardabw.	0.4	-
CPXH (LKW)	87.3	-7.3
Standardabw.	0.4	-

*arithmetischer MW über alle gültigen Messsegmente der Fahrbahn

Misery-Courtion, Traversée de Misery: Sapaphone4 (2018)

Faktenblatt akustische Belagsgüte
4 Jahre nach Belageinbau

Standortdetails

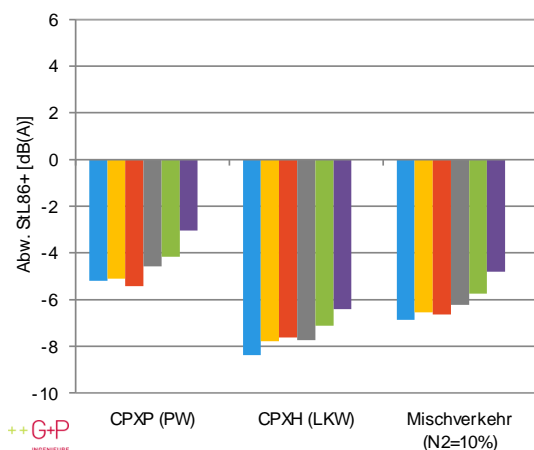


Ort	Kanton:	Freiburg
	Gemeinde:	Misery-Courtion
Messstrecke	Streckenlänge:	1380 [m]
	Strassenbez.	Einspurig
	Koordinaten:	Start Ende
	x	571113 571886 [CH1903]
	y	189608 188583 [CH1903]
Belag	Typ:	Sapaphone4
	Einbaujahr:	2018
	Abschnittslänge:	820 [m]
	HR am Bohrkern:	k.A. [%]
Projekt-Nr.:	Auftraggeber:	Kt FR
	Ing. Bür:	G+P AG, BE
	Projekt-Nr.:	A6623
	Zielsetzung:	Monitoring
	Verantwortlich:	E. Bühlmann

Messung

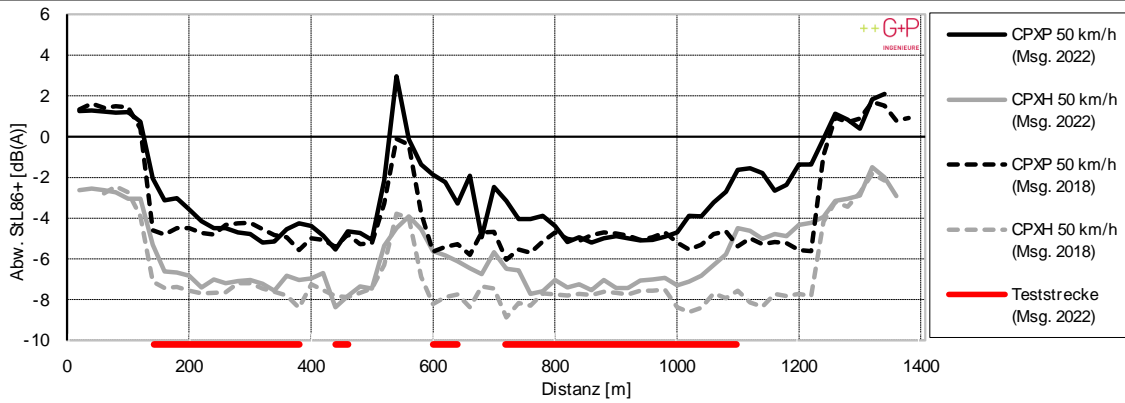
Messart	CPX	Geschwindigkeits-	Referenzgeschwindigkeit:	50 [km/h]
Messequipe	mh + mku	korrektur	Geschwindigkeitskonstante:	B = 30
Messzeit	Datum:	12.10.2022	Indexwerte	P1 Reifen PW: CPXP = L _{CPX} P1
	Zeitraum:	15:00 - 18:00		H1 Reifen LKW: CPXH = L _{CPX} H1
Temperatur	Luft 1.5m:	16.9 [°C]	Reifen Typ:	P1 Uniroyal Tigerpaw SRTT
	Belag:	18.6 [°C]		H1 Avon AV4
	Reifen:	18.4 [°C]	Produktions-	P1 1019
	Korrektur-	P1 -0.110 [dB(A)/°C]	datum:	H1 1112
	faktor	H1 -0.110 [dB(A)/°C]	Inbetriebnahme:	März 2022
			Reifenhärte	P1 links 68.5 [ShoreA]
				rechts 68.5 [ShoreA]
				H1 links 72.9 [ShoreA]
				rechts 72.5 [ShoreA]
Korrekturverfahren	Norm"			
Bemerkung	" SN EN ISO 11819-2:2021			
		Umrechnungsmodell	Korrelation basiert auf 67 CPX-SPB-	
		CPX zu StL86+	Wertepaaren (Erstelldatum: 09.2011)	

Akustische Belagsgüte im Zeitverlauf

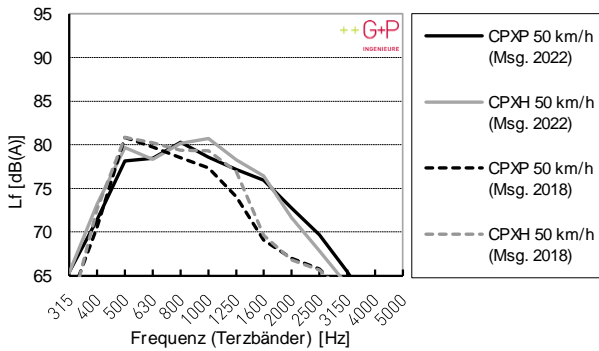


Messjahr	Mittelwerte* der aktuellsten Messung (2022)		
	L _{CPX}	Abw. StL86+	
2018	CPXP (PW)	87.6	-3.0
	Standardabw.	1.2	-
2019	CPXH (LKW)	87.9	-6.4
	Standardabw.	0.7	-
	Mischverkehr (N2=10%)	-	-4.8
	Mittelwerte* Erstmessung (2018)		
	L _{CPX}	Abw. StL86+	
2020	CPXP (PW)	85.9	-5.2
	Standardabw.	0.4	-
2021	CPXH (LKW)	86.5	-8.4
	Standardabw.	0.6	-
2022	Mischverkehr (N2=10%)	-	-6.9
	*arithmetischer MW über alle gültigen Messsegmente beider Fahrtrichtungen		

Résultats StL86+ Fahrtrichtung Nord (Radspur)



Frequenzanalyse

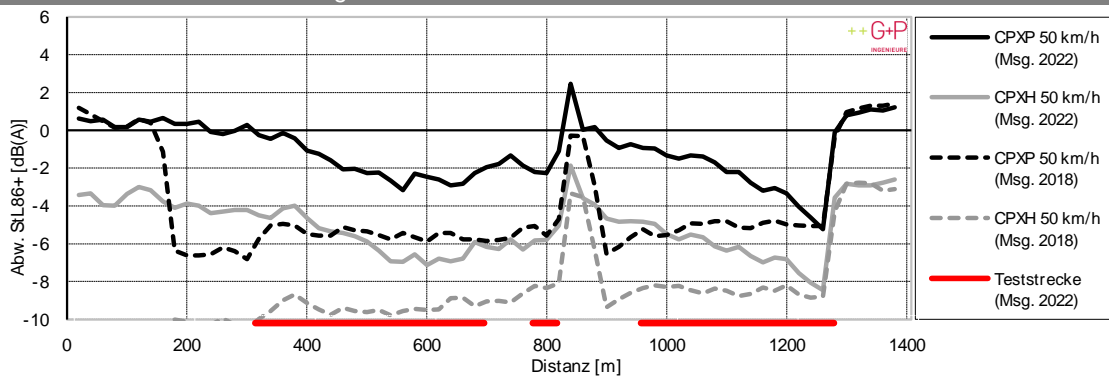


Messfahrten	P1	H1
Anzahl	3	3
Messgeschw.	50.1	50.0
Standardabw.	0.4	0.5

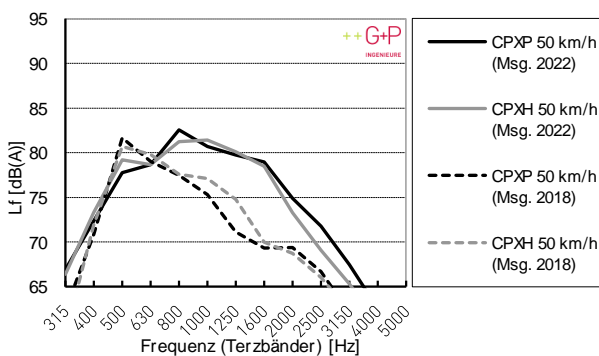
Mittelwerte* der aktuellsten Messung (2022)	L _{CPX}	Abw. StL86+
CPXP (PW)	86.7	-4.1
Standardabw.	0.8	-
CPXH (LKW)	87.6	-6.9
Standardabw.	0.5	-

*arithmetischer MW über alle gültigen Messsegmente der Fahrbahn

Résultats StL86+ Fahrtrichtung Süd (Radspur)



Frequenzanalyse

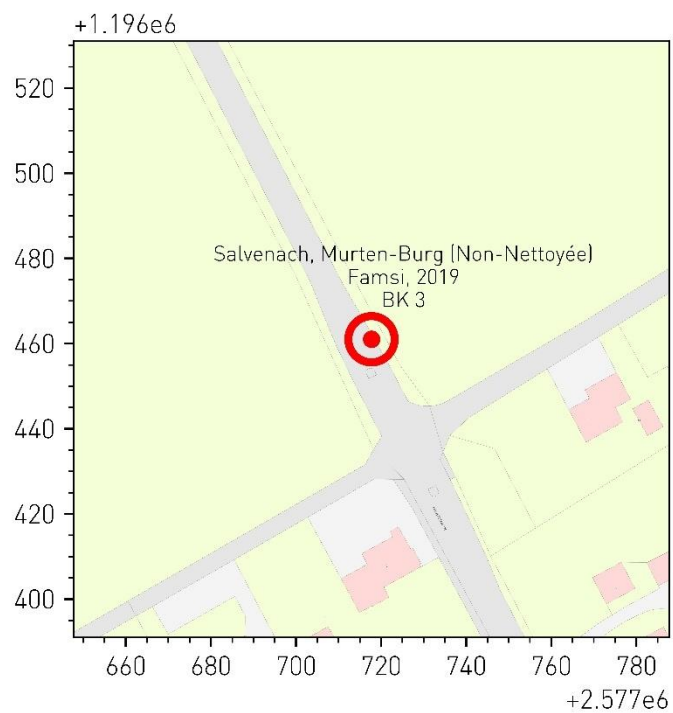
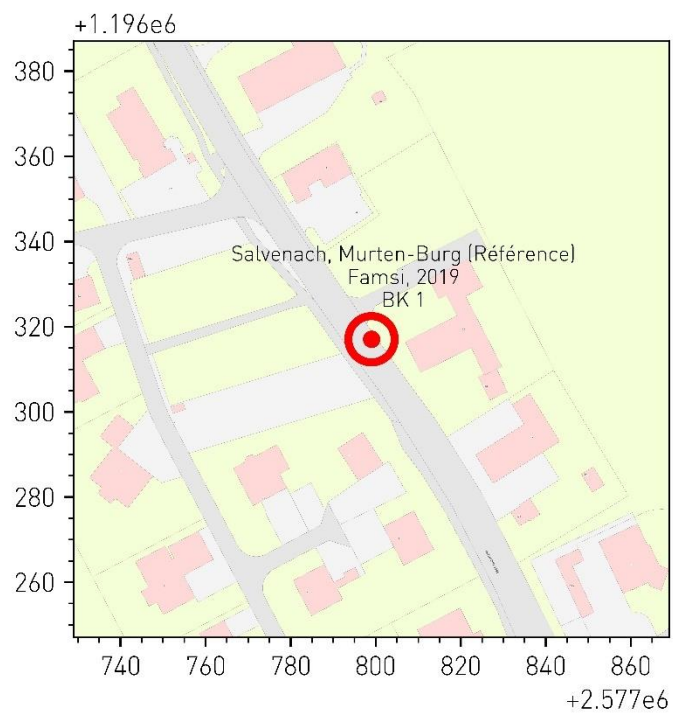


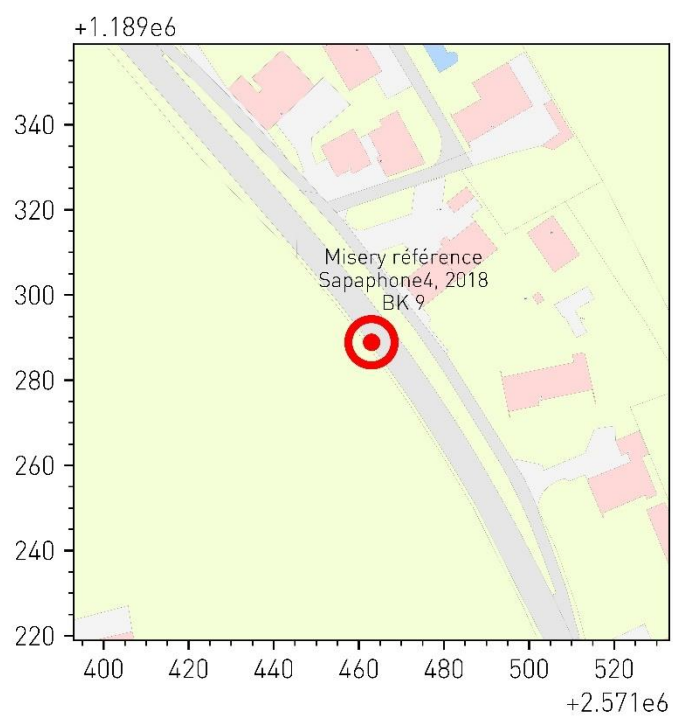
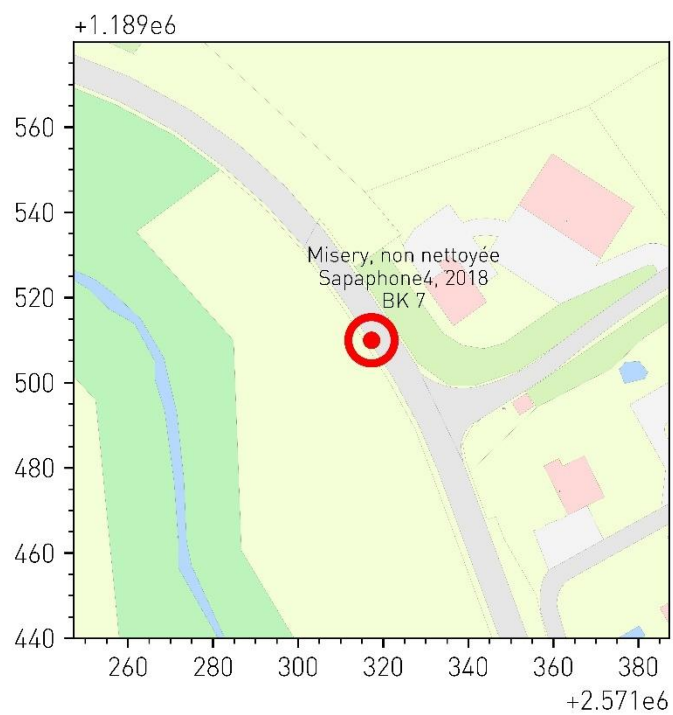
Messfahrten	P1	H1
Anzahl	3	3
Messgeschw.	50.0	50.0
Standardabw.	0.5	0.4

Mittelwerte* der aktuellsten Messung (2022)	L _{CPX}	Abw. StL86+
CPXP (PW)	88.5	-2.0
Standardabw.	0.9	-
CPXH (LKW)	88.3	-5.9
Standardabw.	0.8	-

*arithmetischer MW über alle gültigen Messsegmente der Fahrbahn

VI Points d'échantillonnage Carottes





VII Points de mesure perméabilité d'eau
Misery :



Dompierre :



Murten - Salvenach

